

Departement für Kleintiere
der Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich

Leitung: Prof. Dr. J.M. Hatt

**Der Ellbogenqualitäts-Index (EQ) als neue Methode in der Bekämpfung
der Ellbogendysplasie (ED) beim Hund – eine kritische Analyse der
Methode**

Inaugural-Dissertation

Zur Erlangung der Doktorwürde der
Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich

vorgelegt von

Oliver Schmied

Tierarzt
von Zürich, Basel und Niederwichttracht (BE)

genehmigt auf Antrag von

Prof. Dr. Mark Flückiger, Referent

Prof. Dr. Johann Lang, Korreferent

Zürich 2007

Zentralstelle der Studentenschaft

1	<i>Zusammenfassung</i>	5
1.1	Summary	6
2	<i>Einleitung und Ziele der Arbeit</i>	7
2.1	Einleitung.....	7
2.2	Ziele	9
3	<i>Literaturübersicht</i>	10
3.1	Anatomie und Entwicklung des Ellbogengelenkes	10
3.2	Definition, Ätiologie und Pathogenese der ED	13
3.3	Diagnostik der ED.....	16
3.3.1	Radiologische Untersuchung	16
3.3.1.1	Röntgentechnik	16
3.3.1.2	Radiologische Diagnose der Inkongruenz des Ellbogengelenkes und der Primärläsionen LPA, FPCM und OCD	17
3.3.1.3	ED-Graduierung.....	21
3.4	Ellbogendysplasie - Disposition	24
3.5	Vererbung der ED.....	24
3.6	Zuchtprogramme zur Bekämpfung der ED	27
3.7	Ellbogenkonformation.....	30
4	<i>Patienten, Methodik und Statistik</i>	31
4.1	Patienten	31
4.1.1	Daten der ED-Kommissionen von Zürich und Bern.....	31
4.1.1.1	EQ-Datenbank	31
4.1.2	Patienten für die Röntgentechnik.....	32
4.2	Methodik und Statistik.....	33
4.2.1	Methodik der EQ-Messung	33
4.2.2	Statistische Methoden.....	36

4.2.2.1	Heritabilitäten und genetische Korrelationen (REML-Verfahren).....	37
4.2.2.2	Selektionsindex (Ellbogen-Qualitätsindex = EQ)	37
4.2.3	Methodische Prüfung der Vermessungstechnik.....	39
4.2.3.1	Bildqualität	39
4.2.3.2	ED-Status	40
4.2.3.3	Ellbogenprojektion	40
4.2.3.4	Messpunkte	43
4.2.3.5	Wiederholbarkeiten.....	46
5	Resultate.....	48
5.1	Deskriptive Statistik DSH, GR und LR	48
5.1.1	Deutscher Schäferhund (DSH)	49
5.1.2	Golden Retriever (GR)	64
5.1.3	Labrador Retriever (LR).....	78
5.2	Vergleich der Ergebnisse zwischen DSH, LR und GR.....	92
5.3	Genetische Analysen	95
5.3.1	Heritabilitäten beim Golden Retriever.....	95
5.3.2	Heritabilitäten beim Labrador Retriever.....	97
5.3.3	Rassetypische EQ-Gewichtung.....	101
5.4	Methodische Prüfung der Vermessungstechnik	105
5.4.1	Bildqualität	105
5.4.2	ED-Status	107
5.4.3	Ellbogenprojektion	110
5.4.4	Messpunkte.....	118
5.4.5	Wiederholbarkeiten	124
5.4.5.1	Wiederholbarkeits-Messungen.....	124
5.4.5.2	Seitenorientierung „Rechts-Links Projektion“	124
5.4.5.3	Korrelation der Messungen zwischen 2 Gutachtern.....	127
5.4.5.4	Korrelation der Messungen eines Gutachters.....	131

6	<i>Diskussion.....</i>	<i>134</i>
6.1	Deutscher Schäferhund	135
6.2	Golden Retriever	137
6.3	Labrador Retriever	140
6.4	Methodische Prüfung der Vermessungstechnik	143
6.4.1	Bildqualität	143
6.4.2	ED-Status	144
6.4.3	Ellbogenprojektion	145
6.4.4	Messpunkte.....	146
6.4.5	Wiederholbarkeiten	147
7	<i>Schlussfolgerungen.....</i>	<i>150</i>
8	<i>Literaturverzeichnis</i>	<i>152</i>
9	<i>Danksagung und Widmung.....</i>	<i>159</i>
10	<i>Curriculum vitae</i>	<i>161</i>

1 Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit ist die qualitative Überprüfung der Messmethode von Mues und Beuing zur Bestimmung der Ellbogenqualität (EQ-Index) im Rahmen der Ellbogendysplasie (ED) Bekämpfung beim Hund. Beim EQ-Index handelt es sich um einen Selektionsindex, welcher aus vier Ellbogengelenkswinkeln konstruiert wird und den Genotyp für das ererbte Arthroserisiko umschreibt. Die Überprüfung erfolgte an Ellbogen-Röntgenbildern mit ED-Gutachten folgender drei Hunderassen: Golden Retriever (GR), Labrador Retriever (LR) und Deutscher Schäferhund. Methodik und Einflüsse auf die Winkelvermessungstechnik am Ellbogen wurden anhand folgender Parameter geprüft: Bildqualität der Röntgenbilder, ED-Grad, Ellbogenprojektion, Gelenks-Messpunkte und Wiederholbarkeiten. Zusammenhänge zwischen ED-Grad und EQ-Index wurde anhand der drei Hunderassen mittels ED-Status, genetischer Analysen und Gelenkswinkelmessungen überprüft. Zur exakten Bestimmung des EQ-Index sollten nur qualitativ gute Röntgenbilder benutzt werden. Die Winkelmessungen und der EQ-Index werden durch arthrotische Zubildungen, unterschiedliche Ellbogenprojektionen, Haltung der Gliedmasse und Verschiebung der Messpunkte im Gelenk beeinflusst. Messwiederholungen zeigen bei den Gelenkswinkeln eine gute und beim EQ-Index eine genügende Korrelation. Beim LR und GR ist die Heritabilität des EQ-Index fast doppelt so hoch wie bei der ED. Die optimierten EQ-Indizes zeigen beim LR und GR mit – 0,55 eine bessere Korrelation zum ED-Genotyp als das ED-Gutachten mit 0,36.

1.1 Summary

The purpose of this study is the qualitative verification of the measurement method for the determination of the elbow quality (EQ-Index), developed by Mues and Beuing, in the context of the elbow dysplasia (ED) in the dog. The EQ-Index is a selection-index constructed by four angles of the elbow joint and it characterizes the genotype for the inherited development of arthrosis. The verification was performed on the basis of the ED certified elbow radiographs of the following breeds: Golden Retriever (GR), Labrador Retriever (LR) and German Shepherd Dog. The method and the influences on the technique of the elbow angle measurement were verified by the following parameters: quality of the radiographs, ED status (grade), elbow projection, measuring points and the reproducibility. The correlation between ED-grade and EQ-Index in the three breeds was investigated by ED status, genetic analysis and joint angle measurements. Only radiographs of good quality should be used for a precise determination of the EQ-index. The angle measurements and the EQ-index are affected by arthrosis (osteophyte formation), different elbow projections, positioning of the limb and displacement of the measuring points within the joint. The reproducibilities of the angle measurements are good and for the EQ-index sufficient. The heritability of the EQ-index is almost twice as much the ED-grade. For LR and GR optimized EQ-indeces show a better correlation (-0,55) to the ED genotype than the ED-grade (0,36).

2 Einleitung und Ziele der Arbeit

2.1 Einleitung

Die Ellbogendysplasie (ED) ist eine entwicklungsbedingte Störung im Ellbogengelenk beim Hund, welche während des stärksten Wachstumsschubes im 4. und 5. Lebensmonat auftritt. Wachstumsstörungen der am Ellbogengelenk beteiligten Knochen führen zu dysplastischen Gelenken mit den folgenden häufigsten Formen: Osteochondrosis dissecans (OCD), fragmentierter Processus coronoideus medialis (FPCM), isolierter oder loser Processus anconaeus (LPA) sowie eine Gelenks-Inkongruenz (INC). Die Folge einer ED ist die Entwicklung einer Arthrose. Im ungünstigsten Fall kann diese zu chronischen Schmerzen und eingeschränkter Leistungsfähigkeit des Hundes führen. Entwicklungsbedingte Störungen sollten deshalb frühzeitig erkannt und behandelt werden¹. Auf Grund des gehäufteten Auftretens der ED - bis zu 50% - bei verschiedenen grosswüchsigen Hunderassen und auf Grund der Ergebnisse diverser Studien über die Erbllichkeit, ist eine genetische Disposition anzunehmen. Darum ist es sinnvoll, die Häufigkeit der ED durch geeignete züchterische Massnahmen zu verringern.

So haben diverse Zuchtverbände in der Schweiz Massnahmen ergriffen, um der ED entgegenzuwirken. Beim Berner Sennenhund wurde die ED-Röntgenuntersuchung 1992 als obligatorisch eingeführt, und ab diesem Zeitpunkt gilt für mittel- und hochdysplastische Hunde eine Zuchtsperre (Zucht- und Körreglement KBS). Bei den Retrievern hat der Zuchtverband 1994 eine Empfehlung für eine ED-Röntgenuntersuchung erlassen und diese 1996 für obligatorisch erklärt. Seit dem Obligatorium besteht für mittel- und hochgradig dysplastische Hunde eine Zuchtsperre. Der schweizerische Schäferhund-Club hat Anfang Januar 2002 die ED-Röntgenuntersuchung empfohlen, aber noch kein Obligatorium eingeführt.

Die Heritabilitäten für die verschiedenen ED-Formen sind allgemein gering, daher sind Zuchttierbeurteilungen über den Phänotyp von entsprechend geringer Aussagekraft für die Vererbung. Zuchtentscheidungen treffen somit viele Hunde ungerechtfertigt. Das gilt sowohl für ED-freie Tiere, die ED vererben, als auch für Tiere mit radiologischen ED-Befunden, deren Genese in ungeeigneter Ernährung und Aufzucht zu suchen sind. Die Suche nach alternativen Verfahren, die die Gelenkstruktur und damit die anatomisch begründeten Risiken beschreiben, ist daher sinnvoll. In einem Forschungsprojekt in Deutschland (Beuing²) wurde die Gelenkskonformation am mediolateralen Röntgenbild des Ellbogens mittels Bestimmung von 4 Winkeln charakterisiert. Mit Hilfe einer multivariaten Regressionsanalyse auf der Basis von mehreren Generationen des deutschen Rottweilers wurde eine sogenannte „Ellbogenqualität“ (EQ-Index) formuliert und als numerischer Wert zwischen 0,6 und 1,1 wiedergegeben. Mues³ hat in seiner Dissertation das Verfahren an Rottweilern und Deutschen Schäferhunden untersucht. Die Ergebnisse zeigten bei den EQ-Indizes beider Rassen eine deutlich höhere Heritabilitäten als bei den ED-Gutachten.

2.2 Ziele

In dieser Arbeit sollen die folgenden Fragen beantwortet werden:

1. Haben die Bildqualität, der ED-Status (Primärläsionen und Auflagerungen), die Ellbogenprojektion und die Seitenorientierung einen Einfluss auf die Winkelmessungen als Basis für die Berechnung des EQ? Wie gross sind die Wiederholbarkeiten und Korrelationen der Messungen?
2. Wie hoch sind die Heritabilitäten der Messungen am Gelenk (Winkel und EQ) und der ED-Grade beim Golden Retriever und Labrador Retriever? Welche Variation liegt in den untersuchten Rassen vor und welche genetischen Korrelationen bestehen zu den Messungen und der genetischen Disposition für ED? Welcher Zusammenhang besteht zwischen den Winkelmessungen, respektive der Ellbogenqualität und der ED-Graduierung?
3. Eignet sich die von Beuing² entwickelte EDV-unterstützte Messmethode zur Bestimmung der Ellbogenqualität (EQ) als objektiver Parameter für die Bekämpfung der ED beim Hund?

3 Literaturübersicht

3.1 Anatomie und Entwicklung des Ellbogengelenkes

Das Ellbogengelenk ist ein zusammengesetztes Scharniergelenk, welches durch den Humerus, den Radius und die Ulna gebildet wird. Entsprechend der Beteiligung der genannten Knochen ist neben der *Articulatio radioulnaris proximalis*, die *Articulatio humeroradialis* und die *Articulatio humerulnaris* zu unterscheiden⁵. Lateral hat das Capitulum gelenkigen Kontakt mit dem Radiuskopf, der rund 80% des Gewichtes vom Humerus übernimmt⁶. Von kaudal wird die Trochlea des Humerus umfasst von der Ulna mit dem proximalen *Processus anconaeus* (PA) und zwei distalen, den Radiuskopf umfassenden Kronenfortsätzen, dem kleineren *Processus coronoideus lateralis* und dem grösseren *Processus coronoideus medialis* (PCM). Dieser bildet mit der Trochlea und dem medialen Teil des Radiuskopfes den medialen Teil des Ellbogengelenkes und übernimmt vom Humerus rund 20% des Gewichtes. Die drei Ulnafortsätze haben vor allem die Aufgabe, das Gelenk zu stabilisieren und zu führen^{1,7}. Pronation und Supination werden durch das Gelenk zwischen Radiuskopf und den Kronfortsätzen der Ulna ermöglicht.

Die drei Knochen, welche das Ellbogengelenk bilden, entstehen aus fünf separaten knorpeligen Vorstufen oder Kernen: die Trochlea und das Capitulum, der Radiuskopf und das Olecranon der Ulna mit dem *Processus anconaeus*, der sich bei einigen Hunderassen aus einem gesonderten Knochenkern entwickelt. Die beiden *Processus coronoidei* entstehen nicht aus separaten Knochenkernen, sondern entwickeln sich direkt aus der Ulna. Der *Epicondylus medialis* des Humerus wird gelegentlich als sechster Kern erwähnt, ist aber nicht Teil des Gelenkes¹.

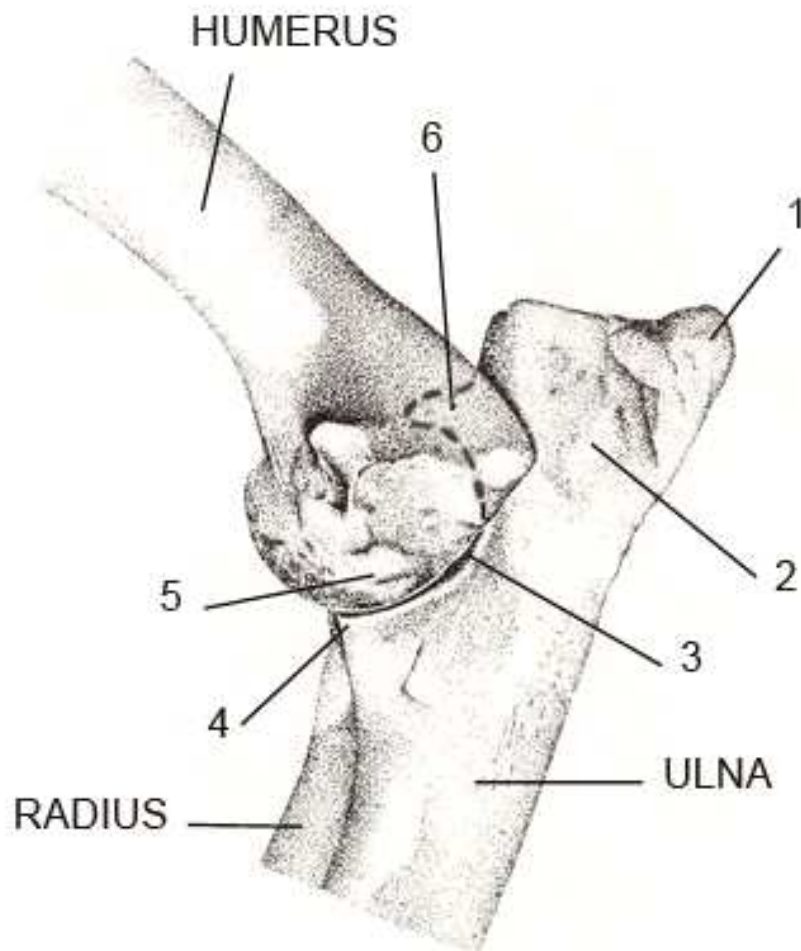


Abb. 1 Linkes Ellbogengelenk, Medialansicht (nach Bienz, modifiziert); Legende siehe Abb. 2

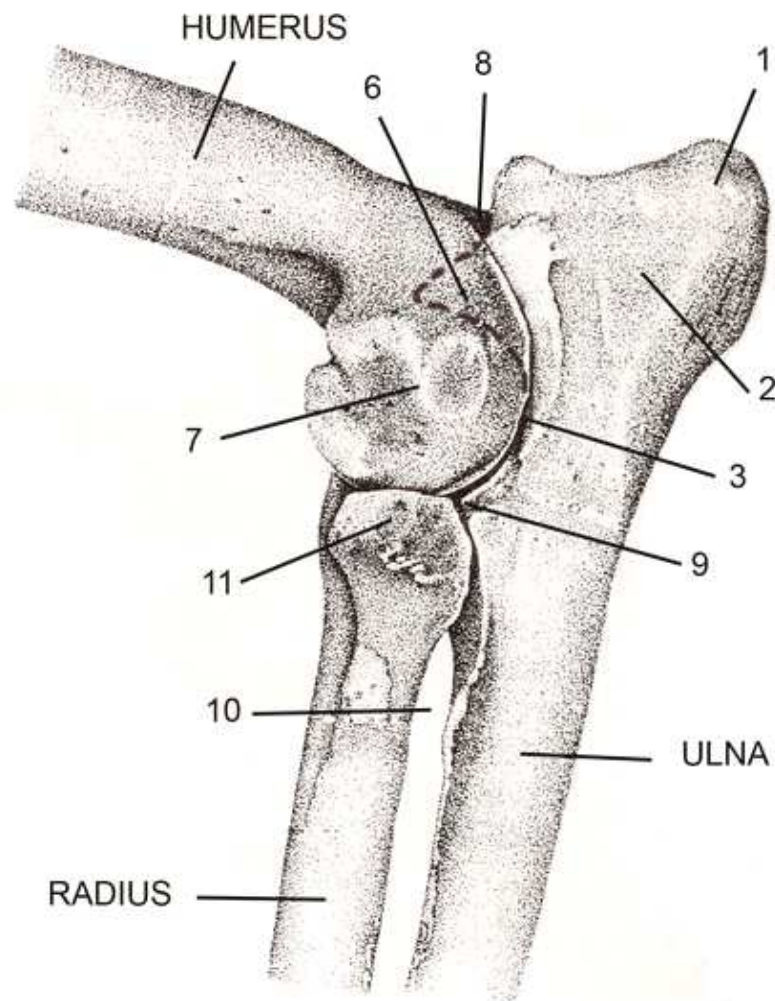


Abb. 2 Linkes Ellbogengelenk, Lateralansicht (nach Bienz, modifiziert)

Legende:

1 = Tuber olecrani

6 = Processus anconaeus

11 = Caput radii

2 = Olecranon

7 = Epicondylus lateralis

3 = Incisura trochlearis

8 = Fossa olecrani

4 = Processus coronoideus medialis

9 = Processus coronoideus lateralis

5 = Epicondylus medialis

10 = Spatium interosseum

3.2 Definition, Ätiologie und Pathogenese der ED

Die Ellbogendysplasie ist einerseits eine polygenetisch bedingte⁸ und damit erblich beeinflusste Entwicklungsstörung⁹ und andererseits eine durch Umwelteinflüsse wie Fütterung und Trauma¹⁰ verursachte Erkrankung. Der genaue Pathomechanismus ist nicht geklärt. Ein Erklärungsansatz basiert auf der Hypothese, dass sich die Incisura trochlearis ungenügend entwickelt und somit die Trochlea humeri nicht zu umfassen vermag. Die Folge ist eine Inkongruenz im Gelenk. Je nach Hunderasse kann sich diese Inkongruenz in verschiedenen Dysplasieformen äussern, wobei folgende klinisch relevant sind: (1) der lose Processus anconaeus (LPA), (2) der fragmentierte Processus coronoideus medialis (FPCM), (3) die Osteochondrosis dissecans (OCD) des medialen Humeruskondylus und (4) die Inkongruenz der Gelenksflächen (INC). Der Schweregrad der einzelnen Dysplasieformen variiert und verursacht Krankheitsbilder von unterschiedlicher klinischer Relevanz. Es ist bekannt, dass alle ED-Formen Lahmheit und Schmerz im Ellbogengelenk hervorrufen können¹¹⁻¹³.

Die verschiedenen Formen der Ellbogendysplasie haben möglicherweise ihre Ursache in einer gemeinsamen Entwicklungsstörung, die unter dem Begriff Osteochondrose zusammengefasst und heute für die meisten entwicklungsbedingten Gelenksschäden verantwortlich gemacht wird¹⁴⁻¹⁶. Osteochondrose umschreibt eine Störung der endochondralen Ossifikation an Prädilektionstellen und führt zu einer Degeneration von Knochen und Knorpel¹⁷. Besonders anfällig sind frohwüchsige Rüden grosser Rassen, die reichlich gefüttert werden. Hunde mit einer langsamen Knochenreifung, feinknochige Rassehunde und solche mit einem Körpergewicht unter 25 kg hingegen erkranken praktisch nie an OCD. Rüden wachsen schneller als Hündinnen und sind deshalb auch häufiger davon betroffen¹⁸⁻²¹. Da sich Frohwüchsigkeit und schnelle Gewichtszunahme erst bei reichlicher oder sogar übermässiger Fütterung entfalten können, ist die ED besonders häufig bei Tieren zu beobachten, die übermässig

gefüttert werden. Zugaben von Kalzium (Knochenmehl, Kalk) zu einem ausgewogenen Fertigfutter für Junghunde oder eine unausgewogene Futterzusammensetzung begünstigen verschiedene Knochenwachstumsstörungen²²⁻²⁴. Aber nicht jeder überfütterte Hund erkrankt an OCD.¹

Es werden 4 Hauptformen der Ellbogendysplasie beschrieben:

Fragmentierter Processus coronoideus medialis (FPCM)

Ein FPCM ist ein häufiger Grund für die Entwicklung einer Ellbogen Arthrose²⁵. Der knorpelige Proc. coronoideus medialis verknöchert von seiner Basis aus, er besitzt kein separates Ossifikationszentrum. Die normale Ossifikation ist 20 bis 22 Wochen nach der Geburt abgeschlossen²⁶. Beim Vorliegen einer Osteochondrose oder bei Überbelastung des PCM bildet sich eine Knorpelfissur und nachfolgend eine Fragmentation²⁷. Ursächlich wird ein asynchrones Wachstum des Radius und der Ulna für einen FPCM verantwortlich gemacht²⁸. Dadurch wird der mediale Processus coronoideus überbelastet²⁸. Ein fragmentierter Processus coronoideus medialis ist gelegentlich mit einer Knorpelschädigung am medialen Humeruskondylus (Kontaktläsion) vergesellschaftet^{29,30}.

Loser Processus anconaeus (LPA)

Das Ossifikationszentrum des Processus anconaeus (PA) ist nur bei wenigen grosswüchsigen Hunderassen von der Ulna separiert. Es erscheint in der 11. bis 14. Woche und vereinigt sich mit dem Olecranon in der 20. bis 22. Woche (Greyhound 14. bis 15. Woche, Deutscher Schäferhund 16. bis 20. Woche)²⁶. Ein LPA als Folge einer Entwicklungsstörung ist hauptsächlich beim Deutschen Schäferhund zu beobachten³¹⁻³³. Das Ossifikationszentrum, aus dem sich normalerweise der PA entwickelt, vereinigt sich nicht mit der Ulna-metaphyse³⁴. Ein LPA kann komplett separiert sein oder über fibröses oder

fibrös-knorpeliges Gewebe mit der Ulna verbunden bleiben^{33,35}. Olsson (1991) vermutete ein überschüssiges Wachstum des Radius gegenüber der Ulna. Durch den entstehenden Druck auf die Fossa olecrani wird das Ossifikationszentrum des PA geschädigt. Weis³⁶ und Wind³⁷ (1986) hingegen vermuteten eine primäre Gelenksinkongruenz mit einer zu kleinen, leicht elliptischen Incisura trochlearis als Entstehung eines LPA³⁰.

Osteochondrosis des medialen Humeruskondylus (OCD)

Osteochondrose wird als eine Entwicklungsstörung des gesamten Skelettes angesehen, manifestiert sich aber nur an besonders gefährdeten Stellen. Sie wurde beim Hunde erstmals am Hinterrand des Humeruskopfes beschrieben³⁸. Im Ellbogengelenk ist der mediale Humeruskondylus am häufigsten betroffen. Grundsätzlich erkranken frohwüchsige Hunderassen wie Retriever, Berner Sennenhunde, Grosse Schweizer Sennenhunde und Rottweiler, aber auch Chow-Chow und Neufundländer¹. Die Pathophysiologie der Osteochondrose ist sehr ähnlich, wie sie für den FPCM beschrieben wurde. Eine verzögerte Entwicklung der Incisura trochlearis im Verhältnis zum Humeruskondylus begünstigt die Entstehung der OCD^{14,36,37}. Es kann sich sogar eine Osteochondrosis dissecans bilden.

Inkongruenz des Ellbogengelenkes (INC)

Gemäss Olsson²⁸ ist das asynchrone Wachstum des Radius und der Ulna für eine Inkongruenz des Ellbogengelenkes verantwortlich. Nach Weis³⁶ und Wind³⁷ hingegen entsteht die Inkongruenz durch eine ungenügende Entwicklung der Incisura trochlearis und einem zu kleinen Radius. Als Folge kann sie die Trochlea humeri nicht vollständig umfassen. Falls die Inkongruenz vor dem 6. Lebensmonat auftritt, kann sie eine OCD, einen FPCM oder LPA auslösen und folglich zusammen mit diesen Läsionen auftreten³⁷. Falls die Inkongruenz nach dem 6. Lebensmonat auftritt, nachdem die Fugen des PA

geschlossen sind, kann sich daraus einzig eine Gelenksinkongruenz entwickeln³⁷.

3.3 Diagnostik der ED

Die Verdachtsdiagnose ED kann aufgrund der Anamnese, der palpatorischen Befunde und der klinischen Symptomatik gestellt werden. Für die definitive Diagnosestellung ist jedoch die radiologische Untersuchung notwendig.

3.3.1 Radiologische Untersuchung

Bei jungen Hunden kann die Diagnose Ellbogendysplasie durch die klinische und radiologische Untersuchung schon im Alter zwischen fünf und sieben Monaten gestellt werden. Aufgrund der hohen Frequenz einer bilateralen Erkrankung der Ellbogenelenke, sollten immer beide Gliedmassen untersucht werden. Im Rahmen einer Vorsorgeuntersuchung werden Hunde ab dem 12. Lebensmonat radiologisch untersucht.

3.3.1.1 Röntgentechnik

Nach Empfehlungen der International Elbow Working Group (IEWG) sollen beide Ellbogen untersucht und mindestens eine gebeugte medio-laterale Aufnahme pro Gelenk erstellt werden. Zur differenzierten Diagnostik werden pro Gelenk eine medio-laterale Aufnahme in neutraler Gelenkposition und ca. 110° Öffnungswinkel und eine kranio-kaudale Aufnahme bei 15° proniertem Ellbogen empfohlen³⁹. Für eine bessere Visualisation des Processus anconaeus und des lateralen Epicondylus humeri wird zusätzlich eine medio-laterale Aufnahme in gebeugter Ellbogenstellung mit 45° - 60° Öffnungswinkel empfohlen. Diese Aufnahme erlaubt auch eine bessere Differenzierung zwischen einer normalen Wachstumsfuge des medialen Epicondylus humeri und einem LPA¹².

3.3.1.2 Radiologische Diagnose der Inkongruenz des Ellbogengelenkes und der Primärläsionen LPA, FPCM und OCD

Loser Processus anconaeus (LPA)

Der lose Processus anconaeus ist die am einfachsten zu erkennende Form der Ellbogendysplasie. Benötigt wird lediglich eine mediolaterale Aufnahme. Als Folge eines LPA bildet sich meistens eine ausgeprägte Arthrose aus. Im höheren Alter werden der LPA und das Gelenk derart stark deformiert und durch Osteophyten verformt, dass der ursprüngliche LPA selber nicht mehr erkennbar ist¹².

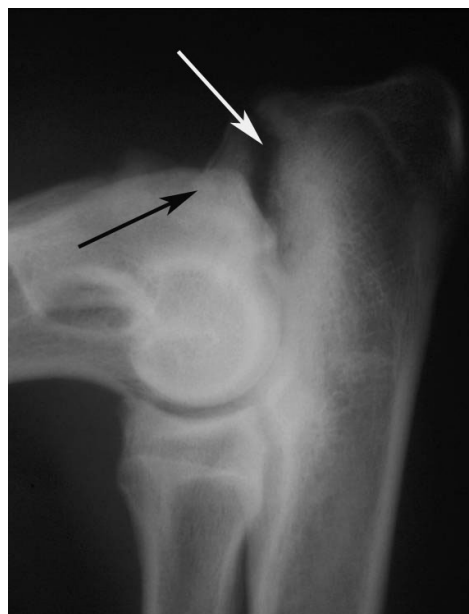


Abb. 3 LPA eines Deutschen Schäferhundes; weisser Pfeil: persistierende Knorpelzone zwischen PA und Olecranon; schwarzer Pfeil: LPA

Fragmentierter Processus coronoideus medialis (FPCM)

Auf einer Röntgenaufnahme ist das Fragment des PCM in den wenigsten Fällen erkennbar^{27,28,40,41}. Als mögliche Gründe dafür werden partielle Fragmentation, minimale Fragmentdislokation⁴², kleine Fragmente, Fragmentlokalisierung zwischen Radiuskopf und Rest des Processus coronoideus¹⁰ und eine Frakturebene nicht parallel zum Röntgenstrahl^{42,43} erwähnt. Zudem kann der mediale Processus coronoideus nur fissuriert^{10,25,40,44}, nicht mineralisiert⁴⁵ oder nur abnormal geformt⁴⁰ sein. Radiologische Befunde, welche auf eine Pathologie des medialen Proc. coronoideus hinweisen, sind ein unscharfer oder verkürzter Rand des medialen Coronoideus⁴⁶. Veränderungen des PCM sind am besten in der gestreckten, supinierten medio-lateralen und in der pronierten kranio-kaudalen Aufnahme erkennbar. Radiologische Veränderungen sind oftmals erst ab ca. 7 Monaten erkennbar, später treten sekundäre arthrotische Veränderungen als einziger Befund auf^{11,26,28}. Eine Arthrose zeigt sich als Sklerose des subchondralen Knochens der Incisura trochlearis, Stufenbildung zwischen Radius und Ulna und im späteren Verlauf durch knöcherne Zubildung im Ellbogengelenk. Osteophyten am medialen Gelenksrand sollten nicht mit dem eigentlichen fragmentierten Proc. coronoideus verwechselt werden. Zur Bestätigung eines radiologisch vermuteten FPCM ist die Untersuchung mittels Computer Tomographie (CT) des Ellbogengelenkes die beste Methode der Wahl.

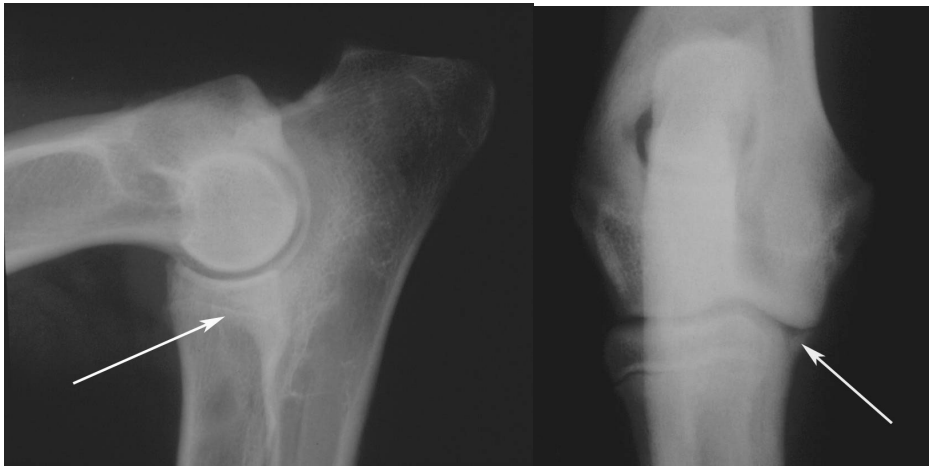


Abb. 4 FPCM bei einem Labrador Retriever; links: medio-laterale Aufnahme. Der kraniale Rand des PCM ist unscharf (Pfeil) **rechts:** Der PCM erscheint als Fragment, in Realität entspricht die vertikal verlaufende Linie dem medialen Rand der Ulna.

Osteochondrose des medialen Humeruskondylus (OCD)

Der Defekt ist in der kranio-kaudalen oder pronierten kranio-kaudalen Aufnahme als strahlendurchlässige Läsion oder schalenförmiger Defekt im subchondralen Knochen des medialen Humeruskondylus gut zu sehen und kann schon ab dem 5. bis 6. Lebensmonat und vor dem Auftreten einer sekundären Arthrose diagnostiziert werden^{11,26,47}. Im weiteren Verlauf kann der Defekt durch einen sklerotischen Rand umgeben sein²⁸. In der medio-lateralen Aufnahme kann man gelegentlich eine Abflachung des kaudodistalen Randes der Trochlea humeri erkennen³⁷. Falls es sich nur um eine Osteochondrose ohne Dissekatbildung handelt, ist die Arthrosebildung fehlend oder weniger ausgeprägt als bei einem FPCM^{11,48}. Wenn sich aber ein Knorpelstück ablöst, können klinische Anzeichen aber früher entstehen und schwerwiegender in Erscheinung treten⁴⁸. Kombinierte OCD-FPCM Läsionen führen meist zu einer schweren Arthrose^{48,49}.



Abb. 5 OCD-Läsion bei einem Golden Retriever, OCD-Läsion am medialen Humeruskondylus (Pfeil).

Inkongruenz des Ellbogengelenkes

In der medio-lateralen und kranio-kaudalen Projektion eines normalen Ellbogengelenkes erscheinen die Gelenkspalten zwischen der Trochlea humeri und der Incisura trochlearis und zwischen dem Condylus humeri, Radius und Processus coronoideus medialis ulnae schmal und gleichförmig³⁷. In der medio-lateralen Ansicht bildet der Gelenkspalt einen kontinuierlichen Kreisbogen. Der Processus coronoideus lateralis sollte nahe anliegen und mit dem angrenzenden Radius kontinuierlich verlaufen³⁷. Inkongruenz ist charakterisiert durch eine Stufenbildung zwischen dem Processus coronoideus lateralis und dem Radiuskopf, einen mehr proximal gelegenen Rand des Processus coronoideus medialis, einen nach kranial subluxierten Humerus sowie vergrößerten humero-ulnaren und humero-radialen Gelenkspalten^{37,50}.



Abb. 6 Links: Inkongruenz des Ellbogengelenkes bei einem Berner Sennenhund: Stufenbildung zwischen Radius und Ulna (Pfeil). **Rechts: normales Ellbogengelenk eines DSH**

3.3.1.3 ED-Graduierung

Es ist wünschenswert sowohl in Hinsicht auf die klinische Relevanz als auch für die Zucht Veränderungen zu quantifizieren. Bei Arthrose ist es nahe liegend, das Ausmass der Zubildungen zu graduieren. In der Vergangenheit wurden verschiedene Methoden entwickelt.

Auswertungsschema der IEWG

Die International Elbow Working Group (IEWG) schlug 1989 vor, die ED anhand des Ausmasses der arthrotischen Zubildungen zu graduieren. Beurteilungskriterien waren das Ausmass der Zubildungen in mm und das Vorliegen einer primären Läsion wie LPA, OCD, FPCM oder INC. Beurteilt wurde eine mediolaterale Aufnahme des gebeugten Ellbogens. In den deutschsprachigen Ländern werden Tiere mit LPA, FPCM oder LPA

automatisch in ED-Grad 3 eingestuft (Tab. 1). Das schlechtere Ellbogengelenk bestimmt den ED-Grad des Hundes.

Tab. 1 Auswertungsschema der IEWG (2003)⁵¹, modifiziert

ED-Grad	Arthrosegrad	Radiologische Befunde
0	normales Ellbogengelenk	normales Ellbogengelenk, keine Anzeichen von Inkongruenz, Sklerose oder Arthrose
1	leichte Arthrose	Sklerose der Trochlea ulnae oder Stufe ≥ 2 mm zw. Radius und Ulna oder Osteophyten < 2 mm Höhe
2	mittlere Arthrose	Osteophyten 2 - 5 mm Höhe
3	schwere Arthrose oder Primäre ED	Osteophyten > 5 mm Höhe und/oder Primäre ED wie LPA, FPCM, OCD

Punktesystem nach Lang et al.(1998)⁵²

Lang et al. entwickelten ein Punktesystem zur Graduierung der ED mit dem Ziel, das Ausmass der Arthrose und bestehende Primärläsionen LPA, FPCM, OCD und INC zusammenzuziehen. Für die korrekte Beurteilung eines Ellbogens werden eine medio-laterale und eine kranio-kaudale Aufnahme benötigt. Die Auswertungskriterien sind in Tab. 2 dargestellt.

Tab. 2 Punktbewertungssystem nach Lang et al. (1998)

Punkte	Kriterium 1	Kriterium 2	Kriterium 3	Kriterium 4	Kriterium 5	Kriterium 6	Kriterium 7
	Osteophyten am Processus anconaeus	Osteophyten an anderer Stelle	Dichte der Trochlea, Ulna Kopf, Radius	Kongruenz des Humeroulnargelenkes, Stufe Radius/Ulna	Processus coronoideus medialis	Processus anconaeus	Medialer Humeruskondylus
0	keine	keine	normal	normal	normal	normal	normal
1	< 2 mm	minimal, < 2 mm	minimal erhöht	leichte Inkongruenz, Stufe < 2 mm	-	-	-
2	2 - 5 mm	Osteophyten 2 - 5 mm	deutlich erhöht, strukturelle Veränderungen	mittlere Inkongruenz, Stufe < 4 mm	Abnormale Form	Abnormale Struktur oder Form	Sklerose der Trochlea humeri, Verdacht auf OCD
3	> 5 mm	Osteophyten > 5 mm	massiv erhöht	schwere Inkongruenz, Stufe > 4 mm	FPCM	LPA	OCD

Je nach Schweregrad der Veränderungen werden die einzelnen Kriterien mit 0 bis 3 Punkten belegt. Die Punktesumme definiert den ED-Grad eines Gelenkes:

Tab. 3 ED-Grad Einteilung nach Lang et al.

ED-frei	0-1 Punkte (Kriterien 3,4)
ED-Grad 1	1 Punkt in Krit. 1+2 oder bis 4 Punkte total
ED-Grad 2	5-8 Punkte
ED-Grad 3	> 8 Punkte oder 3 Punkte in Krit. 5, 6 oder 7

3.4 Ellbogendysplasie - Disposition

Die verschiedenen Formen der Ellbogendysplasie führen zu Schmerzen und Lahmheiten^{17,18,49,53,54}. Häufig sind beide Ellbogengelenke erkrankt. Betroffen sind vor allem Hunde mit über 20 kg Körpergewicht. Eine hohe Krankheitsinzidenz ist beim Berner Sennenhund, Rottweiler, Deutschen Schäferhund, Golden Retriever und Labrador Retriever zu beobachten^{26,27,41,49,50,55-57}, aber auch bei anderen Rassen wie Neufundländer, Bernhardiner, Mastiff, Springer Spaniel und dem Chow-Chow. Vor Beginn der ED-kontrollierten Züchtung wurden beim Berner Sennenhund und Rottweiler Prävalenzen von bis zu 60% beschrieben⁵⁶. Die Läsionen werden häufiger bei männlichen als bei weiblichen Hunden beobachtet^{11,26,29,49,54,55,58}. Unabhängig davon, welche Primärläsion vorliegt, kann eine Lahmheit bei den ED betroffenen Tieren bereits ab einem Alter von 4-6 Monaten auf-treten^{19,26,32,59-61}. Nach Untersuchungen von Grondalen und Grondalen (1981)⁵⁸ nimmt der Grad der sekundären Osteophytenbildung mit dem Alter zu, unabhängig davon, welche Primärläsion vorliegt. In einem Fütterungsversuch wurde festgestellt, dass eiweissreiches Futter mit hohem Kalzium- und Phosphorgehalt bei ad libidum Fütterung die enchondreale Ossifikation stören und Skelettmissbildungen und OCD induzieren kann⁶², was wiederum einen LPA zur Folge haben kann⁶³.

3.5 Vererbung der ED

Untersuchungen in Schweden, England, Norwegen und Australien lassen vermuten, dass die OCD bei Labrador Retrievern eine erbliche Komponente hat. Die Schätzungen für die Heritabilität schwankt je nach Studie zwischen 0.10 und 0.77^{56,64-66}. Bei Rottweilern ist eine erbliche Komponente für ED nachgewiesen. Einzelne Autoren beobachteten, dass der Einfluss des Muttertieres auf die ED bei den Nachkommen stärker war als derjenige des Rüden^{20,64,66}. Dieses Phänomen wird als maternaler Effekt bezeichnet und ist im

Wesentlichen durch nicht erbliche Ursachen bedingt. Hedhammar et al.²² konnte auch eine genetische Abhängigkeit zwischen dem Gelenkzustand des Vatterieres und denen der Nachkommen nachweisen.

Ohlerth et al.⁶⁷ schätzten die Heritabilität der ED bei einer Schweizer Labradorpopulation mit 297 Tieren basierend auf mütterlichen Vollgeschwistern auf 0,1. Eine Varianzkomponente „Väter“ konnte nicht geschätzt werden. Die Prävalenz der ED betrug 18,3%.

In der Studie von Studdert et al.⁶⁶ wurde in einer australischen Labrador Retriever Population von 1247 Hunden die Heritabilität aus der Vaterkomponente berechnet, sie betrug $h^2 = 0,27$. Es bestand eine Differenz von 0,35 zwischen Vater- und Mutterkomponente, was einen starken maternalen Effekt in der Vererbung der ED vermuten liess.

Beuing et al.²⁰ schätzten mit Hilfe des REML-Modells die Heritabilität der ED beim Rottweiler anhand von einer Populationsgrösse von 2114 Tieren. Die Schätzungen zeigten eine Heritabilität von 0,28 und eine wurfbedingte Varianz von 0,06. Der einzige signifikante fixe Umwelteffekt war der Einfluss des Geschlechtes.

Mäki et al. (2000)⁶⁸ haben bei einer finnischen Rottweilerpopulation von 2278 Tieren Heritabilitäten der Hüftgelenkdysplasie (HD) und Ellbogendysplasie mit Hilfe eines gemischten REML-Modells berechnet. Bei der ED wurden signifikante Effekte wie Alter, Geburtsjahr und Geschlecht festgestellt. Die Heritabilität der ED wurde auf $h^2 = 0,31$ geschätzt. In einer anderen Studie von Mäki et al. (2002)⁶⁹ wurden verschiedene finnische Hunderassen bezüglich HD und ED untersucht. Folgende Heritabilitäten wurden geschätzt: Golden Retriever $h^2 = 0,26$ (n= 2640), Deutscher Schäferhund $h^2 = 0,15$ (n= 3121), Labrador Retriever $h^2 = 0,10$ (n= 2627) und Rottweiler: $h^2 = 0,37$ (n= 3386).

Janutta et al.⁷⁰ schätzten die Heritabilität beim Deutschen Schäferhund anhand einer Populationsgrösse von 2645 Hunden. Die Heritabilität der ED betrug in der Schätzung der univariaten Analyse $h^2 = 0,18$.

In der Arbeit von Kirchhoff⁷¹ wurden 1389 Deutsche Schäferhunde hinsichtlich der Heritabilität überprüft. Für sämtliche Merkmale wurde die additiv genetische Varianz und Residualvarianz geschätzt und aus diesen Parametern im vollen Modell eine Heritabilität von $h^2 = 0,20$ (additiv-genetischer Effekt) und für den maternalen genetischen Effekt $h^2 = 0,052$ abgeleitet.

Mit Hilfe einer Vollgeschwisterkorrelation schätzten Guthrie und Pidduck⁶⁵ die Heritabilität der Osteochondrose in einer Hundepopulation von 5130 Tieren (vorwiegend Retriever, Deutsche Schäferhunde und Border Collies). Aufgrund des signifikanten Geschlechtseffektes (Osteochondrose bei Rüden: 1,25% und bei Hündinnen 0,57%) wurden die Heritabilitäten nach Geschlecht getrennt geschätzt: Rüden $h^2 = 0,77$ (n= 2489) und Hündinnen $h^2 = 0,45$ (n= 2641). In Tabelle 4 sind die verschiedenen Heritabilitäten der oben aufgeführten Autoren nochmals zusammengefasst.

Tab. 4 Autor und Schätzung der Heritabilitäten der ED verschiedener Hunderassen

Autor	Rasse	Anzahl Tiere	h^2 ED
Olerth et al. ⁶⁷	Labrador	297	0,10
Studdert et al. ⁶⁶	Labrador	1247	0,27
Beuing et al. ²⁰	Rottweiler	2114	0,28
Mäki et al. ⁶⁸	Rottweiler	2278	0,31
Mäki et al. ⁶⁹	Golden Retriever	2640	0,26
Mäki et al. ⁶⁹	Deutscher Schäfer	3121	0,15
Mäki et al. ⁶⁹	Labrador	2627	0,10
Mäki et al. ⁶⁹	Rottweiler	3386	0,37
Janutta et al. ⁷⁰	Deutscher Schäfer	2645	0,18
Kirchhoff ⁷¹	Deutscher Schäfer	1389	0,18

3.6 Zuchtprogramme zur Bekämpfung der ED

Infolge diverser Studien über den genetischen Hintergrund und Pathogenese der ED bei Hunderassen mit hoher Prävalenz (z.B. Rottweiler, Retriever, Berner Sennenhunde und Deutsche Schäferhunde), wurden in verschiedenen Ländern Zuchtprogramme ins Leben gerufen, um dieser Erkrankung entschieden entgegenzutreten. Verschiedene Autoren^{31,53,65,72} haben Empfehlungen zur Einführung von Zuchtprogrammen und Strategien für züchterische Massnahmen vorgeschlagen.

Bereits Ende der 70er Jahre begann man in Schweden beim Berner Sennenhund und Rottweiler mit der Untersuchung auf ED. In Schweden verlangten 1981 Züchter und Besitzer von Berner Sennenhunden und Rottweilern eine zentrale Evaluation und Registrierung von Ellbogen-Röntgenbildern ihrer Rassen. 1988 wurde für diese Rassen ein Screening- und Kontroll-Programm für Ellbogenarthrose eingeführt⁸. Seit 1990 muss vor einem Zuchteinsatz der Ellbogenstatus der Eltern untersucht werden, sonst werden die Nachkommen nicht in das schwedische Hundestammbuch aufgenommen⁸. Anfang der 90er Jahre wurden auch für den Golden Retriever, Labrador Retriever und Deutschen Schäferhund, später auch für den Leonberger, Neufundländer und Wachtelhund Untersuchungsprogramme für ED eingeführt. In den meisten Fällen werden die Ellbogen zusammen mit den Hüftgelenken geröntgt. Für die Beurteilung der ED wird nur eine medio-laterale Aufnahme gefordert⁷³. Folgende Zuchterfolge beim Berner Sennenhund und Rottweiler wurden von Swenson et al.⁵⁶ beschrieben: Von 1983 bis 1988 sank die Prävalenz der ED von über 60% auf 38% beim Berner Sennenhund und auf 45% beim Rottweiler. Die Prävalenz der ED war bei männlichen Berner Sennenhunden (41%) kleiner als bei weiblichen (46%). Umgekehrt waren mehr männliche Rottweiler (51%) als weibliche (42%) von der ED betroffen. Zudem wurde ein signifikanter Effekt des Röntgenalters auf die Prävalenz und Schweregrad der Ellbogenarthrose beider Rassen festgestellt. Ein ähnliches Screening-Programm wie in Schweden wurde

auch in Norwegen für dieselben Rassen (Rottweiler 1984, Berner Sennenhund 1989) eingeführt. Später wurde festgestellt, dass die Prävalenz der ED in beiden Rassen nicht gesunken ist⁶⁴. Andererseits wurde 1999 von Grondalen et al.⁷⁴ beobachtet, dass der Prozentsatz arthrosefreier Berner Sennenhunde innerhalb von 10 Jahren um 10% zugenommen, während die mittlere und schwere ED von 22% auf 7,8% abgenommen hatte.

In Finnland untersuchten Mäki et al.⁶⁹ die genetischen Varianzen, Trends und Vererbungsmodus für Hüft- und Ellbogendysplasie in verschiedenen Hundepopulationen während der Jahre 1983 bis 1998. Genetische Trends für die ED waren nach dem Jahr 1992 positiv für alle untersuchten Rassen (Deutscher Schäferhund, Golden Retriever, Labrador Retriever und Rottweiler). Die geringfügige Verbesserung der genetischen Ellbogengesundheit variierte je nach Rasse zwischen 0,04 und 0,12 ED-Grad-Punkten. Phänotypische Selektionsunterschiede beim Rüden variierten zwischen 0,13 (Labrador) und 0,17 (Rottweiler). Bei den Hündinnen waren diese etwas tiefer, 0,07 beim Labrador und 0,10 beim Rottweiler. Als Anteil an den phänotypischen Standardabweichungen waren diese Unterschiede zwischen 0,19 und 0,52, was besagt, dass nur eine milde Selektion gegen die ED erreicht wurde.

In Deutschland wurde erstmals ein Screeningverfahren im Jahr 1996 zur Bewertung der ED-Situation beim Rottweiler eingeführt. Die bis 1997 zentral nach den Richtlinien der IEWG ausgewerteten Ellbogenröntgenbilder ergaben bei 1462 ausgewerteten Röntgenbildern eine ED Prävalenz von 50%. Darauf wurde vom Allgemeinen Deutschen Rottweiler Klub (ADRK) die Zuchtwertschätzung für ED aufgenommen. Beuing et al.²⁰ zeigten anhand von 2114 Rottweilern mittels REML-Schätzungen eine Heritabilität von $h^2 = 0,28$ und eine umweltbedingte Varianz von 0,64. Der einzige signifikante fixe Umwelteffekt war der Einfluss des Geschlechtes. Von 1996 bis 1999 stieg der Anteil an ED freien Tieren von 34,8% auf 53,8% an, während der Anteil an Hunden mit Arthrose in der gleichen Zeit abnahm. Erklärungen für diesen

Trend könnten Änderungen im Bewertungssystem, wachsende Vorselektion oder genetischer Fortschritt sein.

In der Schweiz wurden Mitte der 1980er Jahre bei einigen Zuchtverbänden erste Massnahmen ergriffen, um der ED entgegenzuwirken. Beim Berner Sennenhund wurde die ED-Röntgenuntersuchung 1992 obligatorisch eingeführt, und ab diesem Zeitpunkt besteht eine Zuchtsperre für Hunde mit ED-Grad 2 oder 3. Hunde mit ED-Grad 1 dürfen nur noch mit ED-Grad 0 Hunden gepaart werden (Zucht- und Körreglement KBS). Bei den Retrievern hat der Zuchtverband 1994 eine Empfehlung für eine ED-Röntgenuntersuchung erlassen und diese dann 1996 für obligatorisch erklärt. Für Hunde mit ED-Grad 2 oder 3 besteht eine Zuchtsperre. Der Schweizerische Schäferhund-Club hat Anfang Januar 2002 die ED-Röntgenuntersuchung empfohlen, aber bis jetzt noch kein Obligatorium eingeführt. In einer internen Mitteilung der Dysplasie-Kommission von Bern und Zürich⁷⁵ wurden die Prävalenzen der ED in der Schweiz beim Berner Sennenhund (BSH), Deutschen Schäferhund (DSH), Golden Retriever (GR) und Labrador Retriever (LR) der Geburtsjahre 1992 bis 2001 vorgestellt (Tab. 5)

Tab. 5 Verteilung der ED Prävalenzen der Geburtsjahre 1992 bis 2001

Rasse	n	ED-frei	ED Grad 1	ED Grad 2	ED Grad 3
DSH	630	76,20%	13%	6,50%	4,30%
BSH	862	65%	21,10%	9%	4,90%
GR	654	74,20%	17,70%	6,30%	1,80%
LR	1403	74,80%	15,80%	5,80%	3,60%

Beim DSH zeigt der Verlauf der ED-Grad mit Mittelwerten zwischen 0,33 und 0,50 über die Jahre keine eindeutigen Unterschiede oder Tendenzen. Beim BSH bewegt sich der ED-Grad Mittelwert zwischen 0,35 und 0,65, und es ist eine deutliche Abnahme über die Geburtsjahre 1991 bis 2001 zu beobachten. Jährlich nimmt der Anteil von zuchttauglichen Hunden (ED Grad 0 und 1) um

0,6% zu. Beim GR schwankt der ED-Grad Mittelwert zwischen 0,27 und 0,46, die Zahl zuchttauglicher Tiere steigt um 0,4% pro Jahr geringfügig. Auch beim LR schwanken die ED-Grad Mittelwerte zwischen 0,27 und 0,48. Auch hier ist mit ca. 0,4% pro Jahr nur eine geringe Zunahme an zuchttauglichen Tieren zu erkennen.

3.7 Ellbogenkonformation

Infolge der geringen Heritabilität des ED-Gutachtens und der bescheidenen Zuchterfolge beim Labrador Retriever wurde eine andere Möglichkeit gesucht, um der ED entgegenzutreten. Die Arthrosegrade und Primärläsionen sind nur zum Teil genetisch bedingt, einen erheblichen Einfluss auf die Entwicklung der ED haben Umweltfaktoren wie Röntgenalter, Fütterungsintensität und Gelenkbelastung durch Bewegung und Leistung. Da die Einteilung der Gelenke in nur 4, erst noch altersabhängige ED-Grade, für züchterische Massnahmen unbefriedigend ist, wurde eine andere Methode gesucht, um die Ellbogengelenke objektiv zu beschreiben. Ziel der Untersuchungen von Beuing⁴ und Mues³ war daher, die Ellbogenkonformation durch objektive Vermessung der Gelenke am Röntgenbild zu charakterisieren. An medio-lateralen Röntgenbildern wurden vier Winkel definiert und ausgemessen. Die Winkel wurden in einer multiplen Regressionsfunktion nach der Selektionsindex-Methode⁷⁶ so kombiniert, dass die Vererbungserwartung für ED mit maximal möglicher Genauigkeit vorausgesagt wird. Von der Konzeption her ist die Ellbogenqualität (EQ) nicht dazu gedacht, den klinischen Status des Gelenkes zu charakterisieren. EQ ist somit eine Züchtungsinformation für Selektionsentscheidungen.

4 Patienten, Methodik und Statistik

4.1 Patienten

4.1.1 Daten der ED-Kommissionen von Zürich und Bern

4.1.1.1 EQ-Datenbank

Für die Bestimmung der Ellbogenqualität (EQ) nach Beuing⁴ und Mues³ mit Hilfe der digitalen Bildanalyse (Beuing⁷⁷) wurden die Ellbogen-Röntgenbilder der Deutschen Schäferhunde, Golden Retriever und der Labrador Retriever aus den Datenbanken der Jahrgänge 1998 bis 2002, insgesamt 1224 Hunde, verwendet. Erfasst wurden folgende Parameter: Rasse, Geschlecht, SHSB-Nr., Geburtsdatum, Röntgendatum, Röntgenalter, Auswertungsjahr, SHSB-Nr. Vater/Mutter, ED-Grad rechts/links und ED-Grad der schlechteren Seite sowie allfällige Primärläsionen.

Von allen Hunden wurden die mediolateralen Ellbogenaufnahmen mit Hilfe einer analogen Kamera und entsprechender Digitalisierungshardware (Umwandlung analoger Signale in digitale Bilder) und Software auf dem Bildschirm wiedergegeben. Die Gelenkwinkel wurden bestimmt und die EQ-Indizes ermittelt.

In der Tabelle 6 sind die drei Hunderassen nach Geschlecht, Anzahl und deren Verteilung aufgelistet. Die Deutschen Schäferhunde stellen 19%, die Golden Retriever 38% und die Labrador Retriever 43% des Patientenguts.

Tab. 6 Anzahl, Geschlecht und Verteilung der drei Hunderassen

			Rasse			Gesamt
			Deutscher Schäferhund	Golden Retriever	Labrador Retriever	
Geschlecht	männlich	Anzahl	135	234	195	564
		%	58.7%	49.7%	37.3%	46.1%
	weiblich	Anzahl	95	237	328	660
		%	41.3%	50.3%	62.7%	53.9%
Gesamt		Anzahl	230	471	523	1224
		%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

4.1.2 Patienten für die Röntgentechnik

Um den Einfluss der Ellbogenlagerung auf die Gelenkwinkel und den EQ-Index zu bestimmen, wurden 10 Hunde unterschiedlicher Rassen am Tierspital in Zürich geröntgt (Tab. 7). Dazu wurden Hunde verwendet, die wegen irgendeiner medizinischen Indikation ohnehin in Narkose gelegt und geröntgt werden mussten. Pro Patient wurden acht Ellbogenröntgen angefertigt, wobei sechs medio-laterale Aufnahmen in verschiedenen Stellungen zur Vermessung nach Mues dienten und zwei kranio-kaudale zur vollständigen Erfassung des ED-Status.

Tab. 7 Rasse, Anzahl, Alter und Geschlecht der geröntgten Hunde

Rasse	Anzahl	Alter (Monate)	Geschlecht
Grosser Schweizer Sennenhund	1	31	wk
Deutscher Vorstehhund	1	77	wk
Tibetan Terrier	1	99	mk
Deutscher Schäferhund	1	28	m
Deutscher Boxer	1	27	w
Labrador Retriever	1	31	mk
Dalmatiner	1	120	mk
Sennenhund-Mischling	1	126	mk
Boxer-Labrador Mischling	1	38	wk
Labrador Retriever	1	78	wk

4.2 Methodik und Statistik

4.2.1 Methodik der EQ-Messung

Zur Vermessung der Ellbogengelenke dienten Röntgenaufnahmen im medio-lateralen Strahlengang in einem Öffnungswinkel zwischen 90-110°. Anders als bei Mues³ wurden die Winkel nicht direkt am Röntgenbild gemessen, sondern mittels analoger (=konventioneller) Kamera erfasst und mittels programmunterstützter Auswertungssoftware am digitalisierten Bild (Auflösung: 640 x 512 Pixel) bestimmt. Die Röntgenbilder wurden dazu auf ein horizontal liegendes Negatoskop gelegt und mit einer analogen Kamera, welche in 30 cm Abstand senkrecht darüber befestigt wurde, erfasst. Die Wiedergabe der digitalisierten Röntgenbilder am Bildschirm wurde mittels Bildschärfe- und Blendenöffnungs-regulierung an der Kamera optimiert. Die Beleuchtungsstärke des Röntgentisch-Negatoskopes liess sich über einen Dimmerregler einstellen. Die Helligkeit und der Kontrast des digitalisierten Röntgenbildes konnten durch die Software am Coputerbildschirm angepasst werden.

Wie in den Abbildungen 7 und 8 dargestellt, wird mit Hilfe eines im Durchmesser variierbaren Kreises der Mittelpunkt des Humeruskondylus markiert. Von diesem Mittelpunkt aus werden nun alle für die Messung wichtigen Gelenkpunkte mit einer Geraden verbunden. Die Markierungspunkte werden wie folgt gesetzt: Im proximalen Drittel des Radius wird ein Punkt so gesetzt, dass die Gerade durch diesen Punkt und den Mittelpunkt des Humeruskondylus parallel zum kranialen Rand der Radiusdiaphyse verläuft (Gerade e). Als nächster Punkt wird der kranialste Rand des Processus Anconaeus gewählt (Gerade a), dann die tiefste Stelle zwischen Processus Anconaeus und kranialem Olecranon (Gerade b), anschliessend der Gelenkspalt zwischen Ulna und Radius (Gerade c) und schliesslich die kranialste Stelle des Radiuskopfes (Gerade d).

Folgende vier Winkel sind für die Bestimmung des EQ-Index massgebend:

Der *Winkel OL* (Olecranonwinkel) zwischen der Geraden **e** und der Geraden **b**. Er beschreibt die Stellung des Olecranons zur Längsachse des Radius.

Der *Winkel PA* (Anconaeuswinkel) zwischen der Geraden **a** und der Geraden **b**. Er beschreibt die nach kranial gerichtete Ausprägung (Länge) des Processus Anconaeus.

Der *Winkel UL* (Ulnawinkel) zwischen der Geraden **b** und der Geraden **c**. Er beschreibt den Gelenksabschnitt, der durch die kraniale Ulnagrube und den Gelenkspalt begrenzt wird.

Der *Winkel RA* (Radiuswinkel) zwischen der Geraden **c** und der Geraden **d**. Er beschreibt den Gelenksabschnitt, der durch die Radiusgelenksfläche gebildet wird.

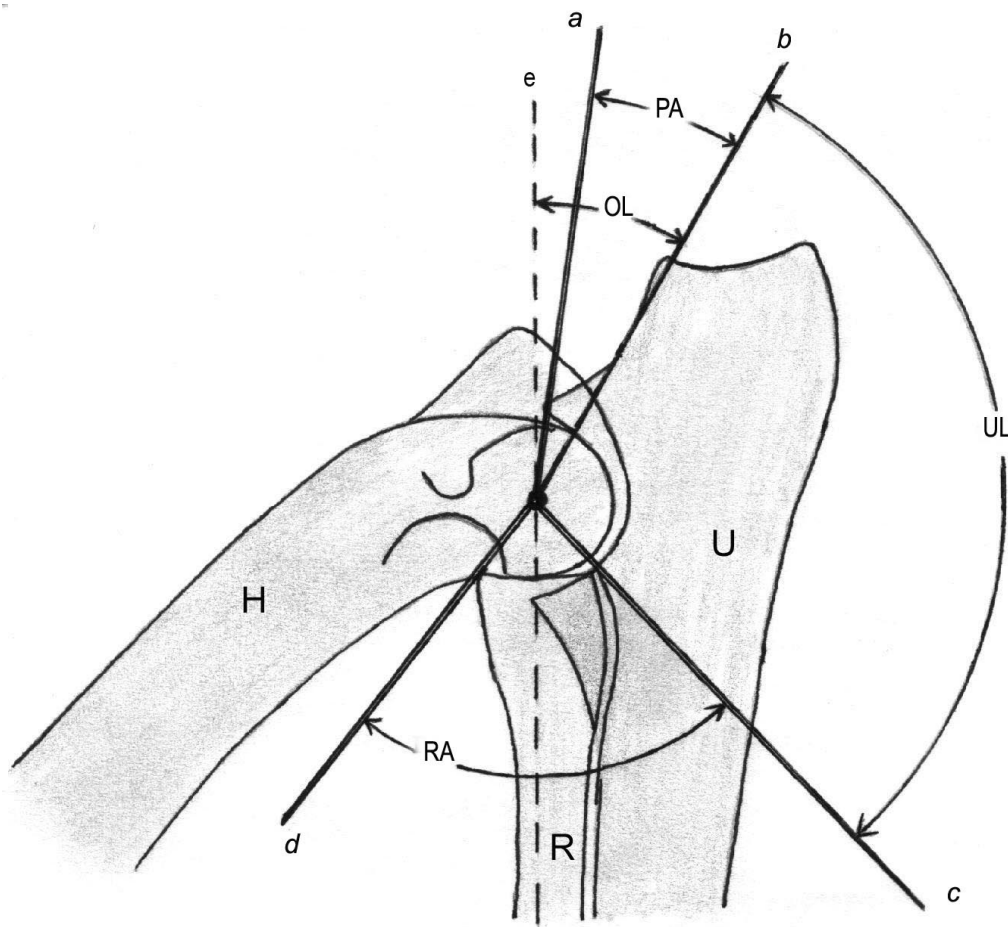


Abb. 7 Darstellung der Winkelvermessung am Ellbogengelenk (nach Mues, leicht modifiziert)

Legende:

a – d: Geraden zwischen Humeruskondylusmittelpunkt und den oben definierten Gelenkspunkten

e : Längsachse des Radius

OL, PA, UL, RA: Messwinkel zwischen den Geraden

H: Humerus

R: Radius

U: Ulna

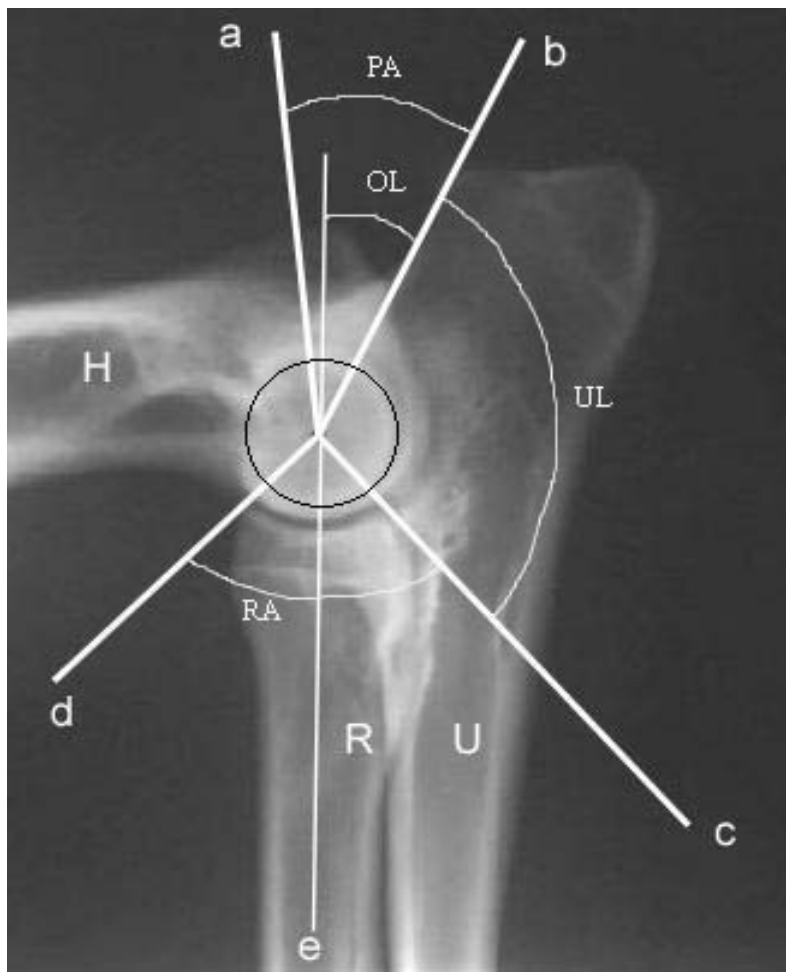


Abb. 8 Darstellung der Vermessungstechnik am Röntgenbild (Legende siehe Abb. 7)

4.2.2 Statistische Methoden

Die 2448 Ellbogenröntgenbilder der 1224 Hunde wurden wie beschrieben digital erfasst, die Winkel und EQ-Indizes bestimmt, die Daten in einer Access 2000 Datenbank gespeichert und mit Hilfe von SPSS (Statistical Products and Service Solutions), Excel und SAS (Statistical Analysis System) für Windows analysiert.

4.2.2.1 Heritabilitäten und genetische Korrelationen (REML-Verfahren)

Die Heritabilitäten und genetischen Korrelationen wurden mit dem Programmpaket VCE⁷⁸ (Variance Component Estimation) geschätzt. Das gemischte Modell enthielt den additiv genetischen Tiereffekt sowie den random Effekt der Mutter, der Aufschluss über die Größe der maternalen Varianzkomponente gibt. Als fixer Effekt wird das Geschlecht berücksichtigt. Die Heritabilitäten und genetischen Korrelationen des DSH konnten nicht berechnet werden, da die Abstammungen nicht bereitgestellt wurden. Das folgende Tiermodell wurde für die Daten der Rassen Golden und Labrador Retriever verwendet:

$$y(ijklm) = \mu + a(i) + S(k) + e(ijklm)$$

$y(ijklm)$ = ED-Grad, Winkel **OL, UL, RA, PA**

μ = Gesamtmittelwert

$a(i)$ = additiv genetischer Effekt des Tieres i

$S(k)$ = fixer Geschlechtseffekt (1=männlich, 2=weiblich)

$e(ijklm)$ = random Effekt des Restfehlers

4.2.2.2 Selektionsindex (Ellbogen-Qualitätsindex = EQ)

Mues hat mit Hilfe der Selektionsindextheorie⁷⁶ aus den Ellbogen-Gelenkwinkeln ein Index mit der Zielgröße „ED-Gutachten“ konstruiert, der den Genotyp für Arthrosen und damit das ererbte Arthroserisiko des jeweiligen Tieres mit maximaler Genauigkeit beschreibt. Es wurden die Merkmale Arthrosebildung nach den offiziellen ED-Gutachten sowie die 4 Einzelmessparameter herangezogen. Die partiellen Regressionskoeffizienten ergeben sich aus dem folgenden Gleichungssystem

$$P \times b = G \times w$$

P und G stellen die phänotypische bzw. die genetische Varianz-Kovarianzmatrix der Merkmale dar. Wenn Merkmal 1 die Zielgrösse (z.B. ED) ist und die Merkmale 2 bis 5 die vier Winkel, handelt es sich um 5 x 5 Matrizen, in deren Diagonale die Varianzen der Merkmale, in der Ausserdiagonalen die Kovarianzen zwischen den Merkmalen stehen. Der Vektor w bestimmt die Zielgrösse (mit dem Element 1, ansonsten 0). Wird ED als Zielgrösse angesehen, so ist

$$w = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Der Vektor b ist die gesuchte Gewichtung in einem optimierten Index, der aus den Winkeln mit maximaler Genauigkeit den Genotyp für ED vorhersagt. Der Vektor b ergibt sich aus der Umformung

$$b = P^- \times G \times w$$

P^- ist die generalisierte Inverse, in der phänotypischen Varianz-Kovarianzmatrix, in der nur die Zeilen und Spalten der Informationsmerkmale enthalten sind. Die Elemente der Zeile und Spalte der Zielgrösse werden mit Nullen aufgefüllt.

Mues hat aus den Parametern für Rottweiler Gewichtungen angegeben, die als repräsentativ angesehen wurden, und diese wurden auch auf den Deutschen Schäferhund übertragen und in der Digitalisierungssoftware hinterlegt. Die technische Durchführung der Indexkonstruktion wurde von Mues über das Programm SIP (Wagenaar et al. 1995) vorgenommen. Die Elemente des Vektors b sind die Gewichtungen für die einzelnen Winkel, so dass sich der konstruierte Selektionsindex, der die für die Vererbung relevante, funktionelle Ellbogen-

qualität (=EQ) beschreibt, aus der Summe der gewichteten Winkelmesswerte ergibt.

$$EQ = b1 \times \mathbf{OL} + b2 \times \mathbf{UL} + b3 \times \mathbf{RA} + b4 \times \mathbf{PA}$$

Dieser Selektionsindex mit den für die unterstellten Parametern optimalen Gewichtungen stellt eine Linearkombination der phänotypischen Merkmale dar, von welcher, wie von jeder beliebigen Linearkombination, auch eine Heritabilität geschätzt werden kann. Dies ist solange möglich, wie im Selektionsindex nur Eigenleistungen und für jedes Tier die gleichen Eigenleistungsmerkmale kombiniert werden.

Die Gewichtungen von Mues sind in der Software fest hinterlegt. Die rassespezifischen Parameter des Rottweilers müssen jedoch nicht optimal für andere Rassen sein. Zusätzlich wurde daher in dieser Arbeit ein rassespezifischer Selektionsindex für den Golden Ratriever und Labrador Retriever konstruiert und mit dem von Mues für Rottweiler konzipierten Selektionsindex verglichen. Weiterhin wurde auch geprüft, inwieweit die Winkel eine ergänzende Information zur ED sein könnte. Wie bei Mues wurde bei den Berechnungen das Programm SIP⁷⁹ angewendet.

4.2.3 Methodische Prüfung der Vermessungstechnik

4.2.3.1 Bildqualität

Zur Bestimmung von EQ sollten die Vermessungspunkte am Ellbogen eindeutig erkennbar sein. Es wurden deshalb Röntgenbilder schlechter Qualität (zu hell oder zu dunkel) auf ihre Tauglichkeit hin überprüft.

4.2.3.2 ED-Status

Es wurde untersucht, wie stark die verschiedenen Arthrosegrade (Grad 1 bis 3) und Primärläsionen (FPCM, LPA und OCD) den EQ-Index beeinflussen. Ein Gelenk mit der Primärläsion LPA kann nicht ausgemessen werden, da einerseits die arthrotischen Auflagerungen die ursprüngliche Gelenks- und Knochenstruktur stark verändern und andererseits die Länge des isolierten Processus anconaeus nicht mit derjenigen des intakten vergleichbar ist. Der erforderliche Messpunkt ist nicht mehr eruierbar. Bei einem Gelenk mit einem LPA kann deshalb auch kein EQ-Index bestimmt werden. Hunde mit einem LPA wurden somit in der Datenauswertung nicht berücksichtigt. Bei allen Hunden mit einer Primärläsion wurde der Zusammenhang zum EQ-Index überprüft. Um den Einfluss des Ausmasses der Arthrose zu prüfen, wurden drei Gelenke mit ED-Grad 3 (Zubildungen $> 5\text{mm}$) zuerst mit Zubildungen, dann ohne (Originalkontur des Knochenrandes) vermessen und danach die EQ-Indizes verglichen.

4.2.3.3 Ellbogenprojektion

Um den Einfluss der Projektion des Ellbogens im medio-lateralen Strahlengang auf die einzelnen Winkel und den EQ-Index zu bestimmen, wurden die beschriebenen Winkel bei verschiedenen Ellbogenöffnungswinkeln und bei unterschiedlicher Pronation und Supination des Ellbogens untersucht. Vermessen wurden fünf verschiedene Haltungen: Eine neutrale, eine gebeugte und eine gestreckte Gelenkhaltung beim linken Ellbogen und sowie eine neutrale, eine pronierte und eine supinierte Gelenkhaltung beim rechten Ellbogen. Zusätzlich wurden rechts und links je eine kranio-kaudale Ellbogenaufnahme zur Vollständigkeit des ED-Status angefertigt. Erfasst wurden die Ellbogen von 10 Hunden in Narkose. Pro Hund wurden 8 Röntgenbilder erstellt:

Kranio-kaudaler Strahlengang:

Je eine Aufnahme des rechten und linken Ellbogens mit 10° pronierter Pfote

Medio-lateraler Strahlengang:

Je eine Aufnahme in maximal pronierter, maximal supinierter und in neutraler Haltung (90°-110°) des *rechten* Ellbogens:

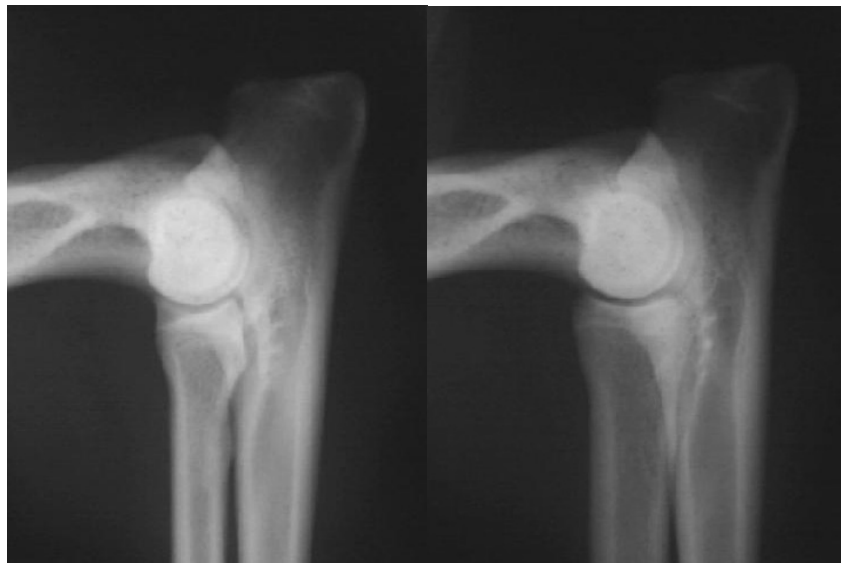


Abb. 9 links: pronierte Ellbogenstellung; rechts: supinierte Ellbogenstellung



Abb. 10 neutrale Ellbogenstellung

Je eine Aufnahme in gestreckter ($\sim 130^\circ$), gebeugter ($\sim 45^\circ$) und in neutraler (90° - 110°) Haltung des *linken* Ellbogens:



Abb. 11 links: gestreckte Ellbogenstellung; rechts: gebeugte Ellbogenstellung



Abb. 12 neutrale Ellbogenstellung

Die Aufnahmen wurden anschliessend wie beschrieben digitalisiert und einzeln vermessen. Somit lagen für jeden Ellbogen 3 haltungsabhängige EQ-Index mit den dazugehörigen Gelenkwinkeln vor.

4.2.3.4 Messpunkte

Da die Lokalisierung der Messpunkte am Ellbogengelenk die Winkel und somit den EQ-Index bestimmt, wurde der Einfluss aller Punkte auf den EQ-Index einzeln geprüft. Dafür wurde ein qualitativ gutes Röntgenbild eines Ellbogengelenkes eines gesunden Deutschen Schäferhundes vermessen. Die erste Messung entsprach den Vorgaben von Mues und ergab den Referenz EQ-Index für dieses Gelenk. Darauf wurden die einzelnen Messpunkte nacheinander um jeweils 2, 4 und 6 mm in vier bzw. zwei verschiedene Richtungen ver-schoben und jedes Mal der daraus resultierende EQ-Index festgehalten. Beim Gelenkspunkt 4 wurde die kranio-kaudale und bei Punkt 6 die proximo-distale Verschiebung weggelassen, da diese zu keinen Winkelveränderungen und damit auch zu keinen EQ-Veränderungen führen. Somit wurden bei den Gelenkspunkten 1, 2, 3 und 5 zwölf und bei den Punkten 4 und 6 sechs EQ-Index gemessen und mit dem Referenzwert verglichen (Abb.13).

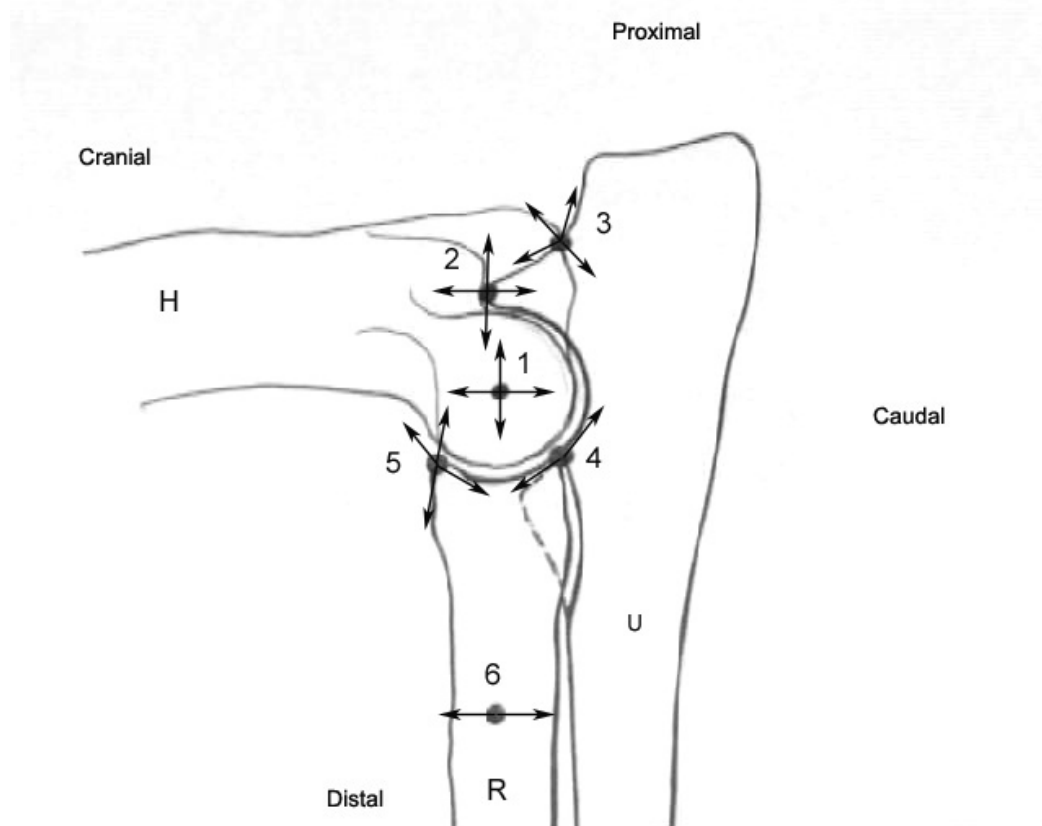


Abb. 13 Skizze der Verschiebungsrichtungen der sechs relevanten Messpunkte

Legende:

1 = Mittelpunkt Humeruskondylus 4 = Gelenkspalt zw. Radius/Ulna H = Humerus

2 = Processus anconaeus Spitze 5 = Kranialer Punkt Radiuskopf U = Ulna

3 = Olecranongrube 6 = Achsenpunkt Radius R = Radius

1. Mittelpunkt des Humeruskondylus:

Der Kreismittelpunkt wird in Richtung der Längsachse des Radius nach proximal und distal und im rechten Winkel dazu nach kranial und kaudal um jeweils 2, 4 und 6 mm verschoben (12 Messungen).

2. Processus anconaeus Spitze:

Parallel zur Längsachse des Radius wird der Referenzpunkt der Processus anconaeus Spitze einerseits nach proximal und distal und andererseits nach kranial und kaudal um jeweils 2, 4, und 6 mm verschoben. (12 Messungen).

3. Olecranongrube:

Der Referenzpunkt wird entlang des kranialen Knochenrandes des Olecranons (Olecranongrube) nach proximal und distal und im rechten Winkel zum Knochenrand nach kranial und kaudal um jeweils 2, 4 und 6 mm verschoben (12 Messungen).

4. Gelenkspalt zwischen Radius und Ulna

Der Referenzpunkt wird entlang der Incisura trochlearis nach proximal und entlang der Gelenksfläche des Radiuskopfes nach distal um jeweils 2, 4 und 6 mm verschoben (6 Messungen).

5. Kranialer Punkt des Radiuskopfes

Der Referenzpunkt wird parallel zur Längsachse des Radius nach proximal und distal und entlang der Gelenksfläche des Radiuskopfes nach kranial und kaudal um jeweils 2, 4 und 6 mm verschoben (12 Messungen).

6. Achsenpunkt des Radius

Der Referenzpunkt wird im rechten Winkel zur Längsachse des Radius nach kranial und kaudal um jeweils 2, 4, und 6 mm verschoben (6 Messungen).

4.2.3.5 Wiederholbarkeiten

4.2.3.5.1 Wiederholbarkeits-Messungen

Um die Wiederholbarkeit zu bestimmen, wurde folgendes Verfahren angewendet: Es wurden 5 Ellbogenröntgenbilder ausgewählt, wobei zwei einen ED-Grad 0, eines einen ED-Grad 1, eines einen ED-Grad 2 und eines einen ED-Grad 3 aufwiesen. Alle fünf Ellbogen wurden nacheinander je fünf Mal ausgemessen. Danach wurde die Wiederholbarkeit mittels ANOVA über eine Intraclass-Korrelation bestimmt. Die Wiederholbarkeit ergibt sich aus der Varianzkomponente zwischen und innerhalb der Gruppen:

$$W = s^2_{\text{(zwischen)}} / (s^2_{\text{(zwischen)}} + s^2_{\text{(innerhalb)}}).$$

4.2.3.5.2 Seitenorientierung „Rechts-Links Projektion“

Um die radiologische Diagnostik zu optimieren, betrachten die meisten Radiologen ein Röntgenbild stets in derselben Ausrichtung, unabhängig davon, wie der Hund gelagert wurde. Bei seitlichen Aufnahmen wird kranial nach links gerichtet, unabhängig davon, ob es sich um die rechte oder linke Gliedmasse handelt. Bei der Vermessungsmethode im Bildbearbeitungs-Programm hingegen werden die Röntgenbilder so betrachtet, wie sie erstellt wurden: das Olecranon des rechten Ellbogens zeigt nach rechts und jenes des linken Ellbogens nach links. Da also die Betrachtung der Aufnahmen nicht einheitlich war, wurde der Einfluss der Seitenorientierung „rechts-links“ auf den EQ-Index geprüft. Zuerst wurden die Aufnahmen von 22 Hunden einmal nach der Vorgabe von Mues und anschliessend gewendet, d.h. gespiegelt nochmals vermessen. Somit standen für dasselbe Gelenk zwei EQ-Indizes, ein Original- und ein Spiegelwert zur Verfügung.

4.2.3.5.3 Korrelation der Messungen zwischen 2 Gutachtern

Um die Wiederholbarkeit der Messmethode zu überprüfen, wurden die Ellbogen von 52 Hunden (19 DSH, 17 LR, 16 GR) mit unterschiedlichen ED-Graden von zwei Gutachtern ausgewertet. Anschliessend wurde die Korrelation

zwischen den Messungen der beiden Gutachter vorgenommen. Die Mittelwerte der gepaarten Differenzen und die Korrelationen der EQ-Indizes, aber auch der einzelnen Gelenkwinkel (Olecranon-, Anconaeus-, Ulna- und Radiuswinkel) wurden überprüft. Die beiden Messungen wurden mit Hilfe des T-Testes bestimmt.

4.2.3.5.4 Korrelation der Messungen eines Gutachters

Um die Wiederholbarkeit der Messungen eines Gutachters am gleichen Gelenk zu überprüfen, wurden die Ellbogen von 52 Hunden (19 DSH, 17 LR, 16 GR) mit unterschiedlichen ED-Graden vom gleichen Gutachter zwei Mal vermessen. Der Zeitraum zwischen der ersten und zweiten Messung betrug einen Monat, die Messprinzipien blieben unverändert. Mittels T-Test wurden die Mittelwerte der gepaarten Differenzen und die Korrelationen der EQ-Indizes und der Gelenkwinkel bestimmt.

5 Resultate

5.1 Deskriptive Statistik DSH, GR und LR

Für die Beurteilung des EQ-Indexes wurden die Ellbogenaufnahmen der drei Rassen DSH, GR und LR der fünf Jahre 1998 bis 2002 digital erfasst und ausgemessen (Tab. 8). Insgesamt wurden 1224 Hunde untersucht. Golden Retriever mit 38% und Labrador Retriever mit 43% machen den Hauptteil aus, Deutsche Schäferhunde rund 19%. Hündinnen überwiegen etwas mit 54%.

Tab. 8 Anzahl und prozentuale Geschlechtsverteilung der drei Hunderassen

			Rasse			Gesamt
			Deutscher Schäferhund	Golden Retriever	Labrador Retriever	
Geschlecht	männlich	Anzahl	135	234	195	564
		%	58.7%	49.7%	37.3%	46.1%
	weiblich	Anzahl	95	237	328	660
		%	41.3%	50.3%	62.7%	53.9%
Gesamt		Anzahl	230	471	523	1224
		%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

5.1.1 Deutscher Schäferhund (DSH)

Rüden zeigen gegenüber Hündinnen häufiger schwere ED (Tab. 9 und Abb. 14). Bei den männlichen Tieren ist der Anteil an Hunden mit ED-Grad 3 etwas grösser als derjenige mit ED-Grad 2.

Tab. 9 Anzahl und prozentuale Verteilung der ED-Grade nach Geschlecht (DSH)

			ED-Grad				Gesamt
			0	1	2	3	
Geschlecht	männlich	Anzahl	102	20	4	9	135
		% von Geschlecht	75.6%	14.8%	3.0%	6.7%	100.0%
	weiblich	Anzahl	76	15	3	1	95
		% von Geschlecht	80.0%	15.8%	3.2%	1.1%	100.0%
Gesamt		Anzahl	178	35	7	10	230
		% von Geschlecht	77.4%	15.2%	3.0%	4.3%	100.0%

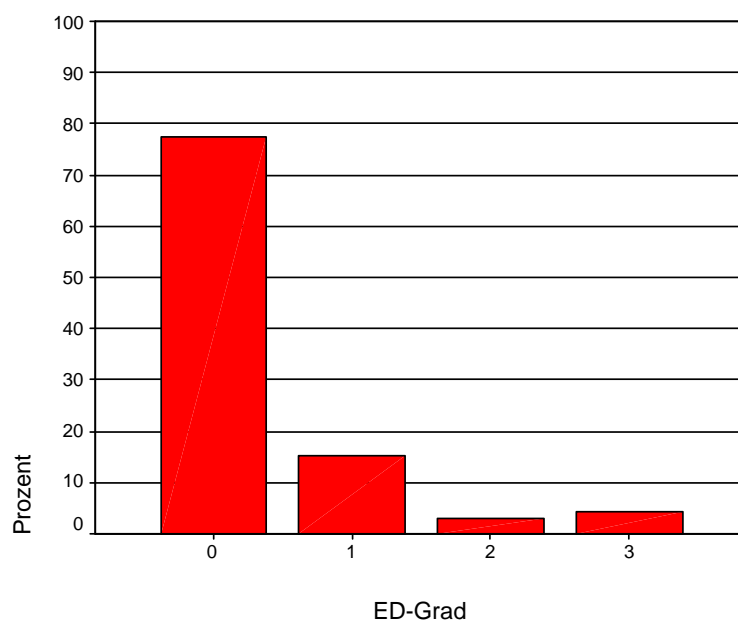


Abb. 14 Prozentuale Verteilung der ED-Grade (DSH)

Das mittlere Röntgenalter der 230 untersuchten Hunde beträgt 17,9 Monate mit einer Standardabweichung von 7,9 Monaten. 50% der Hunde wurden im Alter zwischen 12 und 20 Monaten untersucht (Abb. 15).

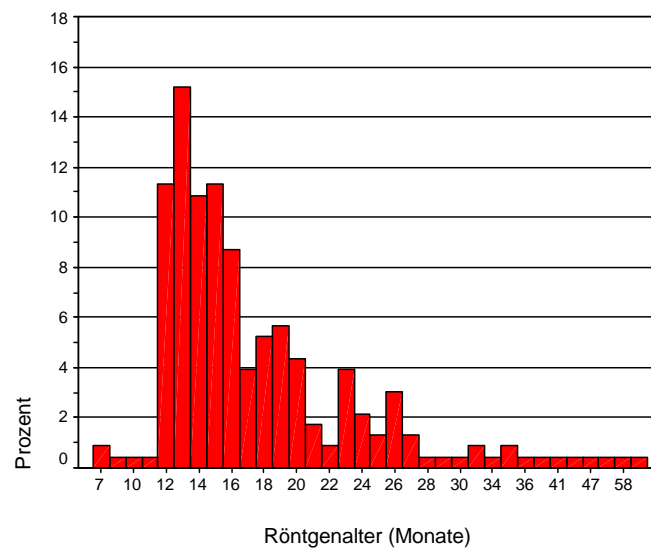


Abb. 15 Prozentuale Verteilung des Röntgenalters (DSH)

Das Röntgenalter hat auf den ED-Grad, die vier Winkel und den EQ-Index keinen signifikanten Einfluss (Tab. 10).

Tab. 10 Einfluss des Röntgenalters auf die vier Winkel, den EQ-Index und den ED-Grad (DSH)

Modell	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
	B	Standard fehler	Beta		
1 (Konstante)	-72.304	166.764		-.434	.665
Anconeus	.361	.472	.136	.764	.445
Olecranon	.418	1.008	.237	.414	.679
Ulna	-.106	.271	-.067	-.389	.698
Radius	9.768E-02	.216	.052	.451	.652
EQ	81.085	141.981	.374	.571	.569
ED-Grad	.284	.770	.027	.368	.713

In den Röntgenjahren 1998 bis 2002 ist ein Abwärtstrend in den Mittelwerten der ED-Grade (0,53 bis 0,22) zu beobachten (Abb. 16).

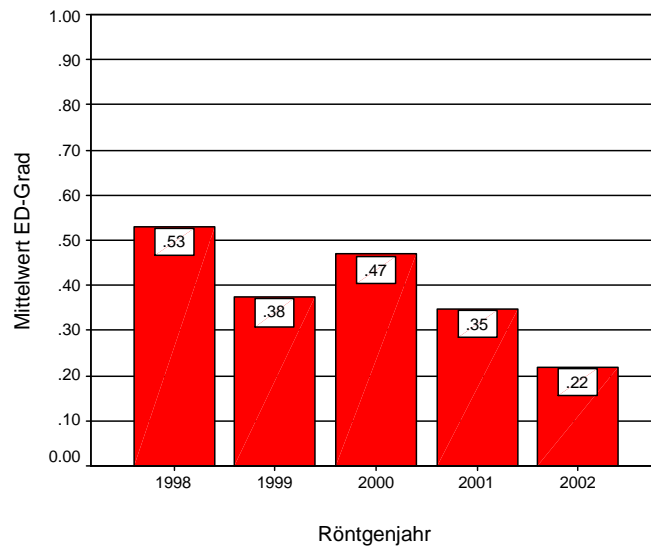


Abb. 16 ED-Grad Mittelwerte dargestellt nach Röntgenjahr (DSH)

In der Boxplot-Darstellung haben die Deutschen Schäferhunde in den ED-Graden 0 bis 2 durchschnittlich ungefähr dasselbe Röntgenalter. Demgegenüber sind die Hunde mit ED-Grad 3 durchschnittlich etwas älter als in den übrigen ED-Graden (Abb. 17). Die Gruppen unterscheiden sich nicht signifikant.

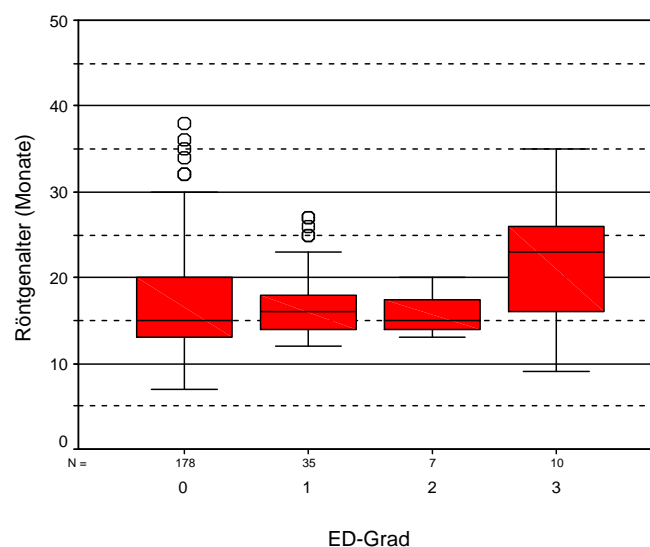


Abb. 17 Röntgenalter (in Monaten) aufgeteilt nach ED-Grad (DSH)

Geprüft wurde, ob die gemessenen Winkel geschlechtsabhängig sind (Tab. 11). Nur die Mittelwerte der Olecranonwinkel zeigen einen signifikanten Geschlechtsunterschied ($p = 0,025$). Der EQ-Mittelwert der Rüden liegt mit 0.93 minim höher als jener der Hündinnen mit 0.92, die Differenz ist mit $p = 0,056$ knapp nicht signifikant. Der ED-Mittelwert zwischen den Geschlechtern ist stark unterschiedlich, aber nicht signifikant verschieden. Rüden weisen einen fast doppelt hohen Mittelwert auf.

Tab. 11 Mittelwertsvergleich der Winkel, des EQ und der ED-Grade nach Geschlecht (DSH)

	weiblich	männlich	Differenz	Signifikanz
Anconaeus	27.92	27.87	-0.05	0.917
Olecranon	22.62	21.28	-1.34	0.025
Ulna	116.40	117.41	1.01	0.134
Radius	82.17	82.26	0.09	0.873
EQ	0.92	0.93	0.01	0.056
ED-Grad	0.25	0.41	0.16	0.119

Die nachfolgenden Abbildungen 18 bis 21 zeigen die Verteilung der gemessenen Winkel (Mittelwerte der rechten und linken Ellbogengelenke).

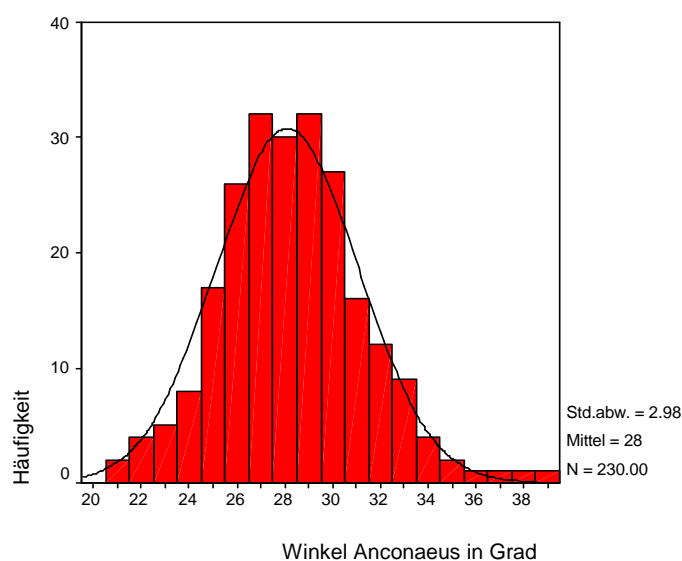


Abb. 18 Häufigkeitsverteilung des Anconaeus-Winkel (DSH)

Der **Anconaeus-Winkel** beschreibt die nach kranial gerichtete Ausprägung (Länge) des Processus anconaeus. Die Spannweite zwischen dem kleinsten und grössten Winkel beträgt 18° . Die gemessenen Winkel sind normalverteilt (Abb. 18).

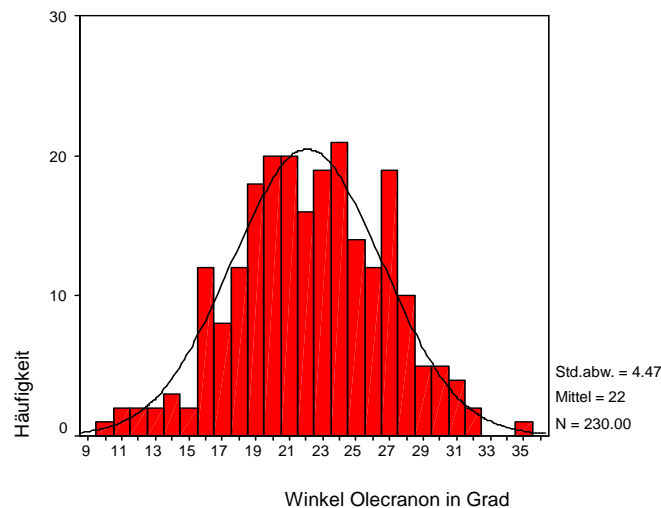


Abb. 19 Häufigkeitsverteilung des Olecranon-Winkel (DSH)

Der **Olecranon-Winkel** beschreibt die Haltung des Olecranons zur Längsachse des Radius. Die Spannweite zwischen dem kleinsten und grössten Winkel beträgt 25° . Die gemessenen Winkel sind normalverteilt (Abb. 19).

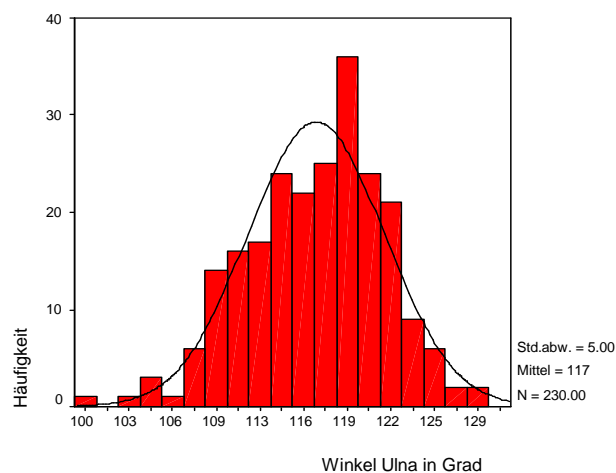


Abb. 20 Häufigkeitsverteilung des Ulna-Winkel (DSH)

Der **Ulna-Winkel** beschreibt die Beteiligung der Ulna am Ellbogengelenk. Die Spannweite zwischen dem kleinsten und grössten Winkel beträgt 29° und ist somit im Vergleich zu den anderen Winkeln am grössten. Die gemessenen Winkel sind nahezu normalverteilt mit leicht positiver Schiefe (Abb. 20).

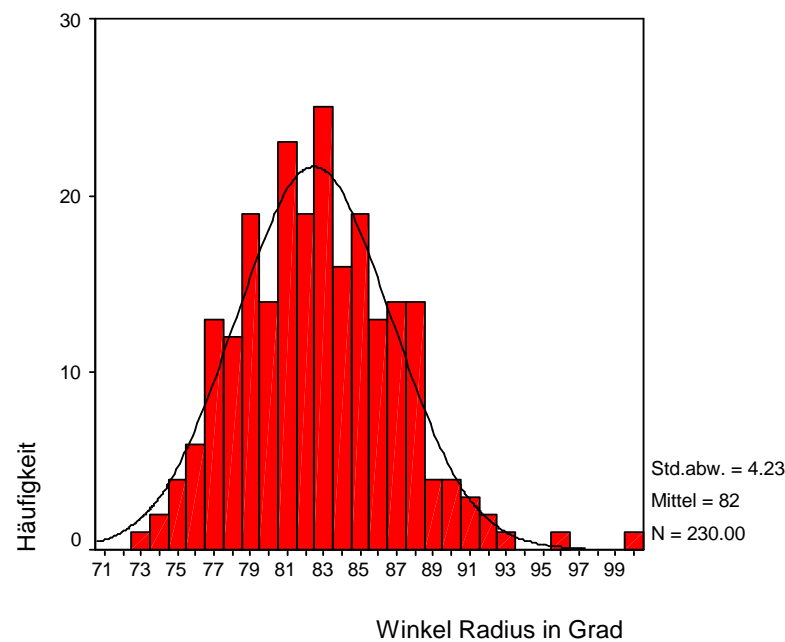


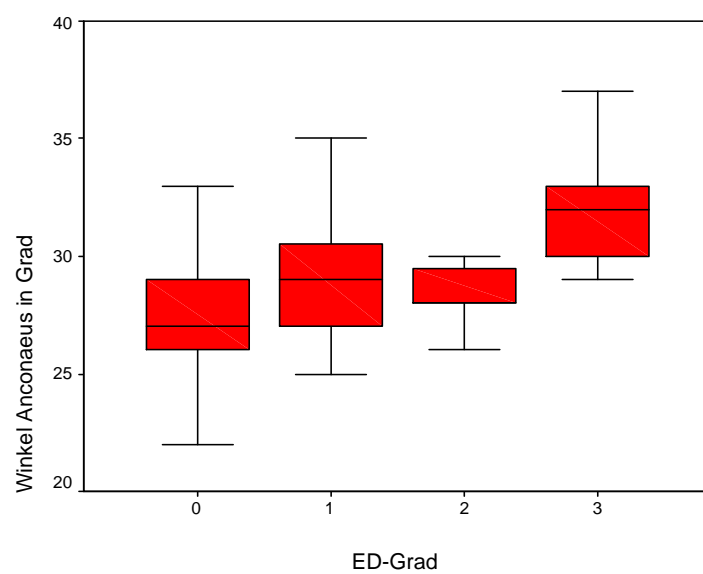
Abb. 21 Häufigkeitsverteilung des Radius-Winkel (DSH)

Der **Radius-Winkel** beschreibt die Beteiligung des Radius am Ellbogengelenk. Die Spannweite zwischen dem kleinsten und grössten Winkel beträgt 28° . Auch diese gemessenen Winkel sind normalverteilt (Abb. 21).

Die Beziehung zwischen den einzelnen Winkeln und dem ED-Grad ist in den folgenden Kreuztabellen (Tab. 12-15) und grafisch als Boxplots (Abb. 22-25) festgehalten.

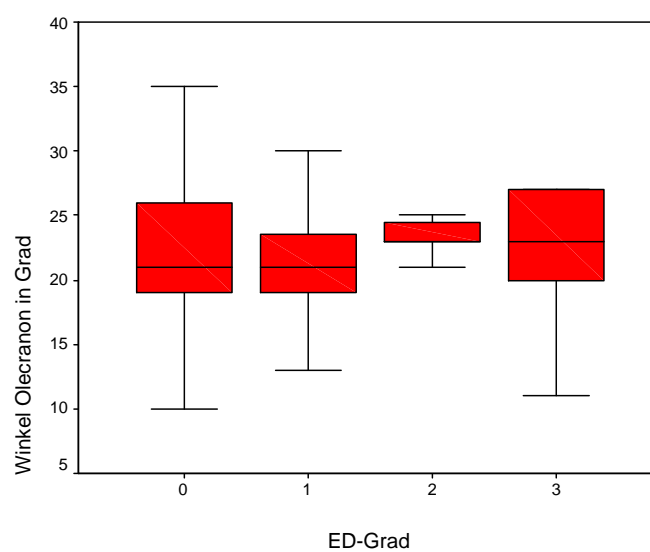
Tab. 12 Kreuztabelle: Häufigkeitsverteilung der Anconaeus-Winkel innerhalb der ED-Grade (DSH)

Anzahl		ED-Grad				Gesamt
		0	1	2	3	
Anconaeus-Winkel (Grad)	20		1			1
	21	1				1
	22	5				5
	23	7				7
	24	12				12
	25	19	2			21
	26	25	3	1		29
	27	25	4			29
	28	22	5	3		30
	29	25	5	1	1	32
	30	15	6	1	2	24
	31	11	5			16
	32	5		1	4	10
	33	3	2		1	6
	34		1			1
	35	1	1			2
	36	2				2
	37				1	1
	38				1	1
Gesamt		178	35	7	10	230

**Abb. 22 Messwerte des Anconaeus-Winkels in Abhängigkeit vom ED-Grad (DSH)**

Tab. 13 Kreuztabelle: Häufigkeitsverteilung der Olecranon-Winkel innerhalb der ED-Grade (DSH)

Anzahl		ED-Grad				Gesamt
		0	1	2	3	
Olecranon-Winkel (Grad)	10	1				1
	11	3			1	4
	13	2	1			3
	14	3				3
	15	5				5
	16	9	2			11
	17	8	2			10
	18	10	2		1	13
	19	13	6			19
	20	20	1		2	23
	21	16	4	1	1	22
	22	8	4			12
	23	15	4	3		22
	24	18	3	1		22
	25	1	2	1	1	5
	26	9	1		1	11
	27	19	1		3	23
	28	5	1	1		7
	29	6				6
	30	3	1			4
	31	2				2
	32	1				1
	35	1				1
Gesamt		178	35	7	10	230

**Abb. 23 Messwerte des Olecranon-Winkels in Abhängigkeit vom ED-Grad (DSH)**

Tab. 14 Kreuztabelle: Häufigkeitsverteilung der Ulna-Winkel innerhalb der ED-Grade (DSH)

Anzahl		ED-Grad				Gesamt
		0	1	2	3	
Ulna-Winkel (Grad)	101	1				1
	104	2				2
	105	2				2
	107	1				1
	108	2				2
	109	4	2	1	1	8
	110	8			2	10
	111	9	2	1		12
	112	8		1	1	10
	113	7	1	1	2	11
	114	8	3			11
	115	10	2	1		13
	116	9	3			12
	117	14	2		2	18
	118	13	2	2		17
	119	22	3			25
	120	13	6			19
	121	13	3			16
	122	11	4		1	16
	123	4	1			5
	124	3				3
	125	6			1	7
	126	5				5
	127	1	1			2
	128	1				1
	129	1				1
Gesamt		178	35	7	10	230

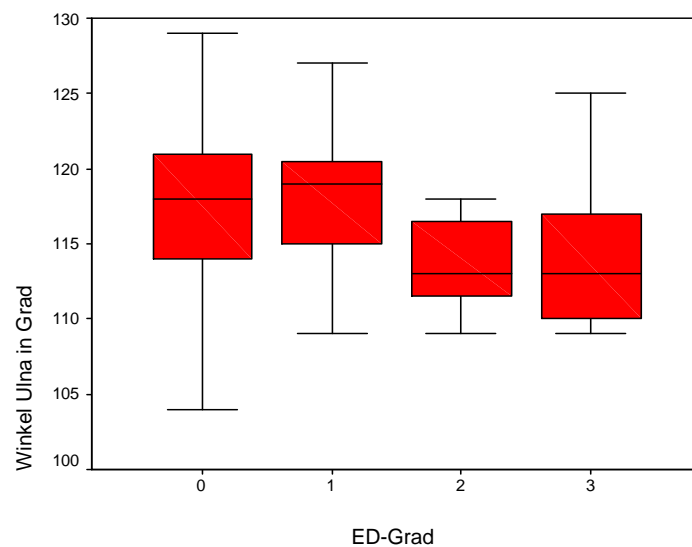
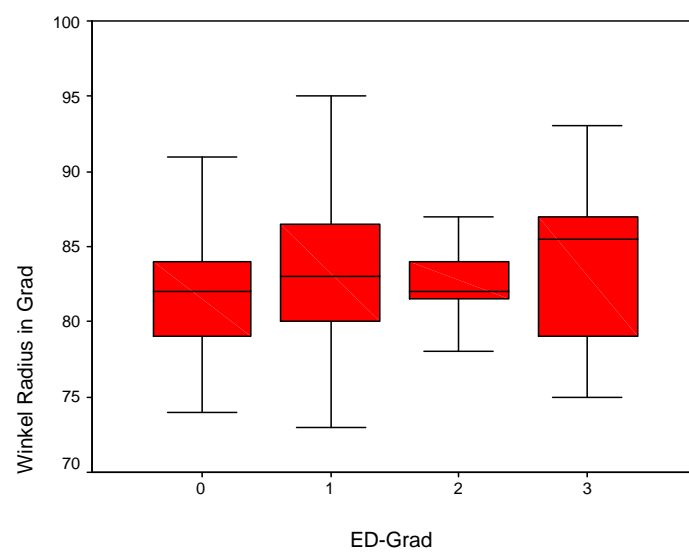


Abb. 24 Messwerte des Ulna-Winkels in Abhängigkeit vom ED-Grad (DSH)

Tab. 15 Kreuztabelle: Häufigkeitsverteilung der Radius-Winkel innerhalb der ED-Grade (DSH)

Anzahl		ED-Grad				Gesamt
		0	1	2	3	
Radius-	73		1			1
Winkel	74	2	1			3
(Grad)	75	6			1	7
	76	7	1			8
	77	12	1			13
	78	11		1	1	13
	79	13	2		1	16
	80	18	4			22
	81	17	2	1		20
	82	18	3	2		23
	83	14	4	1		19
	84	17	2		1	20
	85	9	3	1	1	14
	86	11	2		2	15
	87	8	1	1	1	11
	88	8	4			12
	89	3	1			4
	90	1	2			3
	91	1				1
	92	1			1	2
	93				1	1
	95		1			1
	99	1				1
Gesamt		178	35	7	10	230

**Abb. 25 Messwerte des Radius-Winkels in Abhängigkeit vom ED-Grad (DSH)**

Es besteht nur eine schwache Beziehung zwischen den einzelnen Winkelmessungen und dem ED-Grad. Der Anconaeuswinkel nimmt mit zunehmendem ED-Grad leicht zu (Abb. 22). Der Olecranonwinkel zeigt keinen klar erkennbaren Zusammenhang zum ED-Grad (Abb. 23). Der Ulnawinkel sinkt mit steigendem ED-Grad leicht (Abb. 24), während der Radiuswinkel leicht ansteigt (Abb. 25). Die Beziehungen der Winkel des Radius und des Olecranons zum ED-Grad sind weniger ausgeprägt als jene des Anconaeuswinkels.

Die Häufigkeitsverteilung des Ellbogenqualitäts-Index (EQ) beim Deutschen Schäferhund ist normal (Abb. 26). Der Minimalwert beträgt 0,82 und der Maximalwert 1,02, die Standardabweichung 0,04. Der Mittelwert liegt bei 0,93.

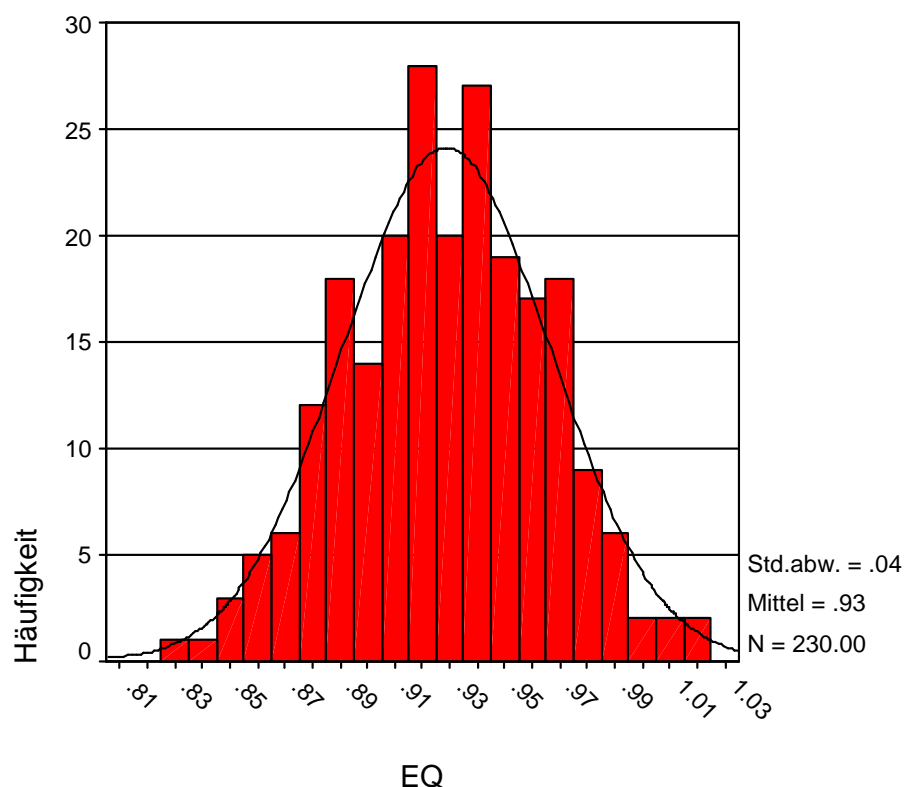
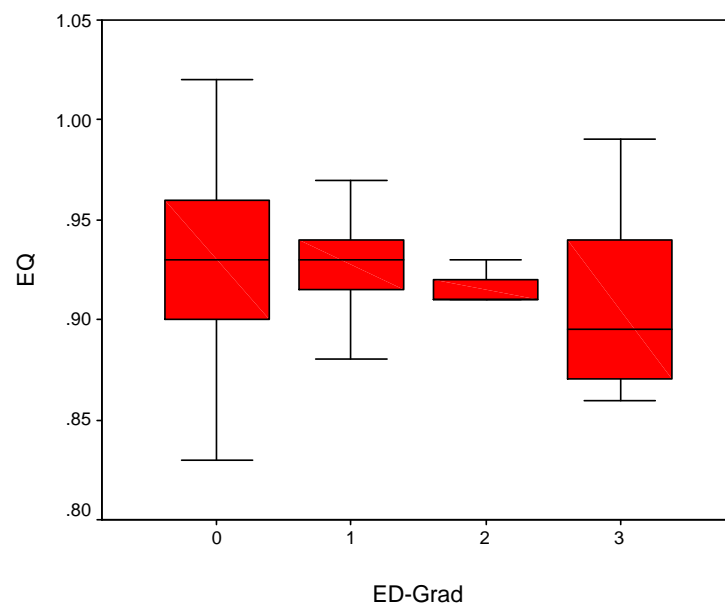


Abb. 26 Häufigkeitsverteilung des EQ beim Deutschen Schäferhund

Tab. 16 Kreuztabelle: Häufigkeitsverteilung des EQ innerhalb der ED-Grade (DSH)

Anzahl		ED-Grad				Gesamt
		0	1	2	3	
EQ	.83	1				1
	.84	1				1
	.85	3				3
	.86	1	1	1	2	5
	.87	5			1	6
	.88	8	2		2	12
	.89	16	2			18
	.90	12	2			14
	.91	13	2	4	1	20
	.92	19	8		1	28
	.93	17	1	2		20
	.94	17	9		1	27
	.95	16	3			19
	.96	15	1		1	17
	.97	17	1			18
	.98	7	2			9
	.99	4	1		1	6
	1.00	2				2
	1.01	2				2
	1.02	2				2
Gesamt		178	35	7	10	230

**Abb. 27 EQ-Indizes bei unterschiedlichen ED-Graden (DSH)**

Zwischen EQ- und ED-Wert besteht kein linearer Zusammenhang (Tab. 16 und Abb. 27). Der EQ-Mittelwert sinkt erst bei höherem ED-Grad. Auffällig ist die grosse Streuung der EQ-Indizes sowohl bei den Hunden mit ED-freien als auch mit hochgradig dysplastischen Gelenken.

In Tabelle 17 sind die gemessenen Winkel, der EQ-Index und der ED-Grad in einer Korrelationsmatrix wiedergegeben:

Tab. 17 Korrelationsmatrix: Alle Winkel, EQ-Index und ED-Grad (DSH)

		Anconaeus	Olecranon	Ulna	Radius	EQ	ED-Grad
Anconaeus	Korrelation nach Pearson	1.000	.119	-.113	.131*	-.378**	.366**
	Signifikanz (2-seitig)	.	.071	.088	.047	.000	.000
	N	230	230	230	230	230	230
Olecranon	Korrelation nach Pearson	.119	1.000	-.834**	-.272**	-.944**	.028
	Signifikanz (2-seitig)	.071	.	.000	.000	.000	.676
	N	230	230	230	230	230	230
Ulna	Korrelation nach Pearson	-.113	-.834**	1.000	-.088	.866**	-.100
	Signifikanz (2-seitig)	.088	.000	.	.182	.000	.130
	N	230	230	230	230	230	230
Radius	Korrelation nach Pearson	.131*	-.272**	-.088	1.000	.068	.155*
	Signifikanz (2-seitig)	.047	.000	.182	.	.302	.018
	N	230	230	230	230	230	230
EQ	Korrelation nach Pearson	-.378**	-.944**	.866**	.068	1.000	-.147*
	Signifikanz (2-seitig)	.000	.000	.000	.302	.	.026
	N	230	230	230	230	230	230
ED-Grad	Korrelation nach Pearson	.366**	.028	-.100	.155*	-.147*	1.000
	Signifikanz (2-seitig)	.000	.676	.130	.018	.026	.
	N	230	230	230	230	230	230

*. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

** . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

In Tab. 18 ist der Zusammenhang zwischen den einzelnen Gelenkwinkeln und dem ED-Grad in Form partieller Regressionen dargestellt. Einzig der Anconaeuswinkel zeigt eine signifikante Korrelation zum ED-Grad. Die gesamte Schätzfunktion (hier ist die Zielgrösse ED und nicht der Genotyp für ED) ist jedoch hoch signifikant (Tab. 19). Die multiple Korrelation der Winkel zum ED-Grad beträgt $R = 0,39$.

Tab. 18 Partielle Regressionen der Winkel zum ED-Grad (DSH)

Koeffizienten ^a					
Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	Signifikanz
		B	Standardfehler	Beta	
1	(Konstante)	.946	3.668		.258
	Anconeus	8.937E-02	.016	.358	5.676
	Olecranon	-2.61E-02	.024	-.157	-1.088
	Ulna	-2.76E-02	.020	-.187	-1.347
	Radius	8.580E-03	.014	.049	.606

a. Abhängige Variable: ED-Grad

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
1	.391 ^a	.153	.138	.688

a. Einflußvariablen : (Konstante), Radius, Ulna, Anconeus, Olecranon

Tab. 19 ANOVA-Tabelle: Gesamte Regression der Winkel zum ED-Grad (DSH)**ANOVA^a**

Modell	Quadrat-summe	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
1 Regression	19.261	4	4.815	10.163	.000 ^a
Residuen	106.605	225	.474		
Gesamt	125.865	229			

a. Einflußvariablen : (Konstante), Radius, Ulna, Anconeus, Olecranon

b. Abhängige Variable: ED-Grad

Für die Berechnung eines spezifischen EQ-Index für den Deutschen Schäferhund müssten die genetischen Parameter (Heritabilitäten und genetische Korrelationen) bekannt sein. Da für diese Arbeit aber keine genetischen Parameter des Deutschen Schäferhundes geschätzt werden konnten, wurde auch kein spezifischer Index berechnet.

5.1.2 Golden Retriever (GR)

Auch beim GR sind Hündinnen etwas seltener von ED betroffen als Rüden, überdies haben letztere etwas mehr mittel- oder hochgradige ED (Tab. 20 und Abb. 28). Der ED-Grad 1 tritt bei beiden Geschlechtern ungefähr gleich häufig auf.

Tab. 20 Anzahl und prozentuale Verteilung der ED-Grade nach Geschlecht (GR)

			ED-Grad				Gesamt
			0	1	2	3	
Geschlecht	männlich	Anzahl	173	41	15	5	234
		% von Geschlecht	73.9%	17.5%	6.4%	2.1%	100.0%
	weiblich	Anzahl	182	42	10	3	237
		% von Geschlecht	76.8%	17.7%	4.2%	1.3%	100.0%
Gesamt		Anzahl	355	83	25	8	471
		% von Geschlecht	75.4%	17.6%	5.3%	1.7%	100.0%

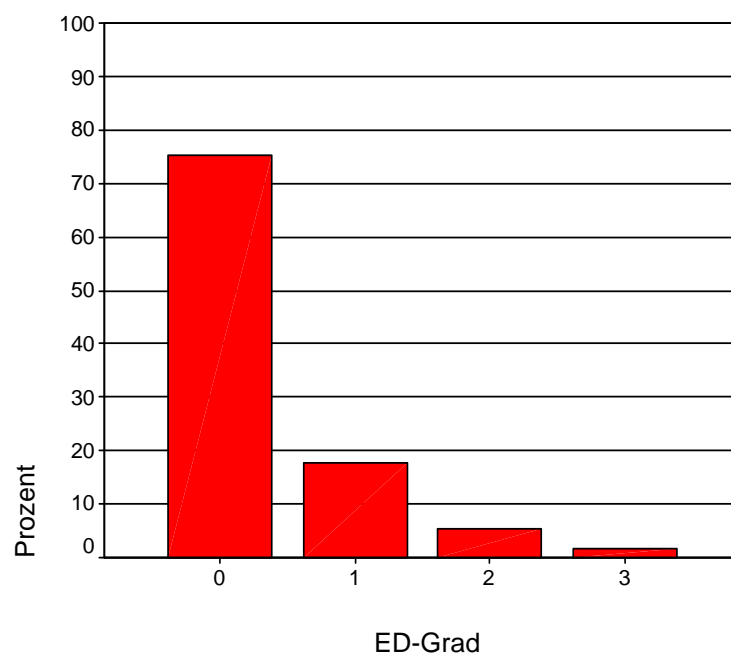


Abb. 28 Prozentuale Verteilung der ED-Grade (GR)

Das mittlere Röntgenalter der 471 untersuchten Hunde beträgt 19 Monate mit einer Standardabweichung von 8,2 Monaten. 50% der Hunde liegen zwischen 15 und 20 Monaten (Abb. 29).

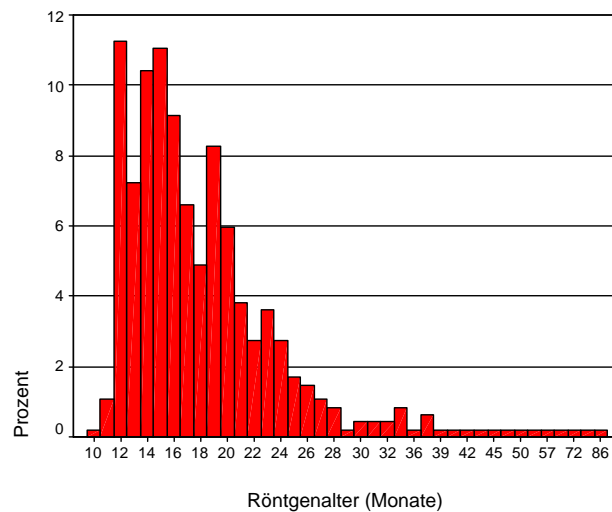


Abb. 29 Prozentuale Verteilung des Röntgenalters (GR)

Der Einfluss des Röntgenalters auf die vier Winkel und den EQ-Index ist nicht signifikant. Nur der ED-Grad wird vom Alter des Tieres signifikant beeinflusst (Tab. 21).

Tab. 21 Einfluss des Röntgenalters auf die vier Winkel, den EQ-Index und den ED-Grad (GR)

Modell	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
	B	Standard fehler	Beta		
1 (Konstante)	-58.846	111.245		-.529	.597
Anconeus	.255	.312	.092	.817	.414
Olecranon	.345	.675	.158	.512	.609
Ulna	-.102	.187	-.060	-.546	.585
Radius	9.641E-02	.148	.059	.652	.515
EQ	72.130	95.340	.284	.757	.450
ED-Grad	1.502	.604	.120	2.488	.013

Die ED-Grad Mittelwerte schwanken zwischen 0,21 und 0,50 ohne erkennbaren Trend (Abb. 30).

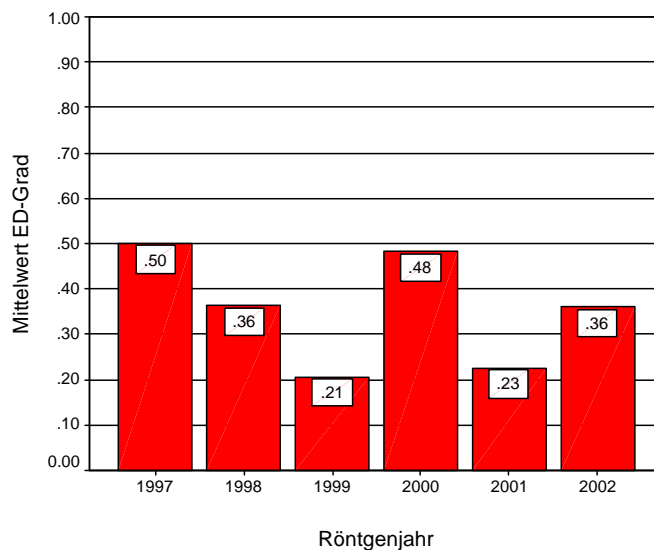


Abb. 30 ED-Grad Mittelwerte dargestellt nach Röntgenjahr (GR)

In der Boxplot Darstellung ist das Röntgenalter über alle ED-Grade relativ gleichmässig verteilt (Abb. 31).

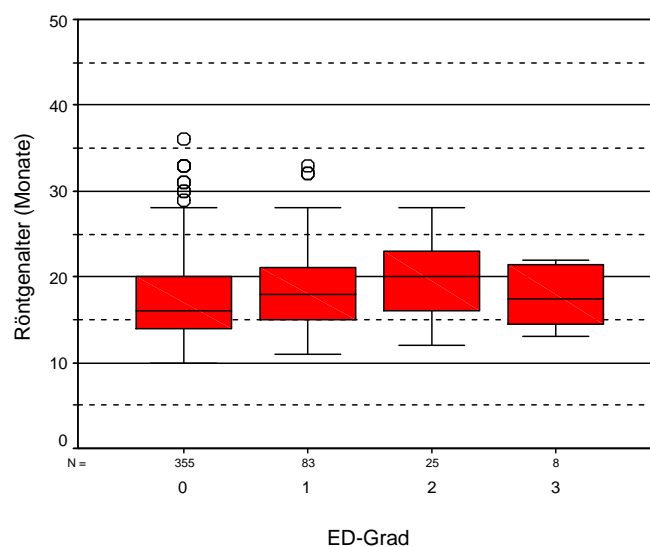


Abb. 31 Röntgenalter (in Monaten) aufgeteilt nach ED-Grad (GR)

Geprüft wurde, ob die gemessenen Winkel geschlechtsabhängig sind (Tab. 22). Die Geschlechter unterscheiden sich im Olecranonwinkel hoch signifikant, im Ulnawinkel ist der Unterschied knapp nicht signifikant. Die anderen zwei Winkel zeigen keinen Geschlechtsunterschied. Der EQ-Mittelwert zeigt eine hoch signifikante Geschlechtsdifferenz. Bei den Mittelwerten der ED-Grade hingegen besteht zwischen den Geschlechtern kein signifikanter Unterschied.

Tab. 22 Mittelwertsvergleich der Winkel, des EQ und der ED-Grade nach Geschlecht (GR); ANOVA

	weiblich	männlich	Differenz	Signifikanz
Anconaeus	28.21	27.77	-0.44	0.110
Olecranon	27.05	25.74	-1.31	0.000
Ulna	113.81	114.68	0.87	0.051
Radius	80.55	81.00	0.45	0.333
EQ	0.89	0.90	0.01	0.000
ED-Grad	0.30	0.37	0.07	0.262

Die Abbildungen 32 bis 35 zeigen die Verteilung der gemessenen Winkel (Mittelwerte der rechten und linken Ellbogengelenke).

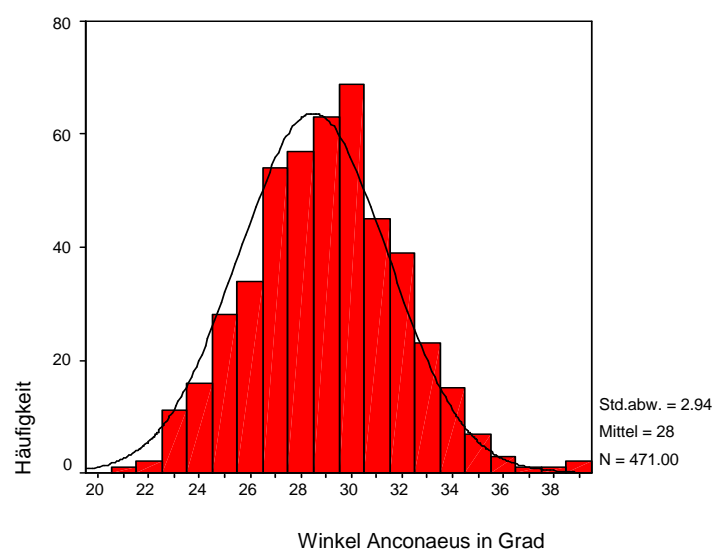


Abb. 32 Häufigkeitsverteilung des Anconaeus-Winkel (GR)

Der **Anconaeus-Winkel** beschreibt die nach kranial gerichtete Ausprägung (Länge) des Processus anconaeus. Die Spannweite zwischen dem kleinsten und grössten Winkel beträgt 17° . Die gemessenen Werte sind normal verteilt (Abb. 32).

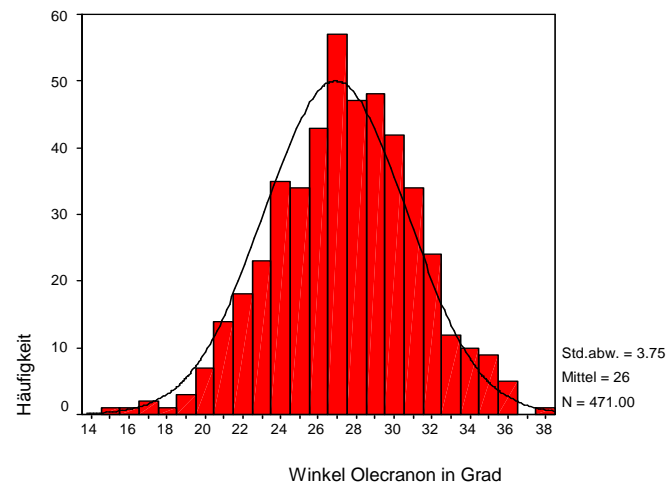


Abb. 33 Häufigkeitsverteilung des Olecranon-Winkel (GR)

Der **Olecranon-Winkel** beschreibt die Haltung des Olecranons zur Längsachse des Radius. Die Spannweite zwischen dem kleinsten und grössten Winkel beträgt 23° . Die gemessenen Werte sind normal verteilt (Abb. 33).

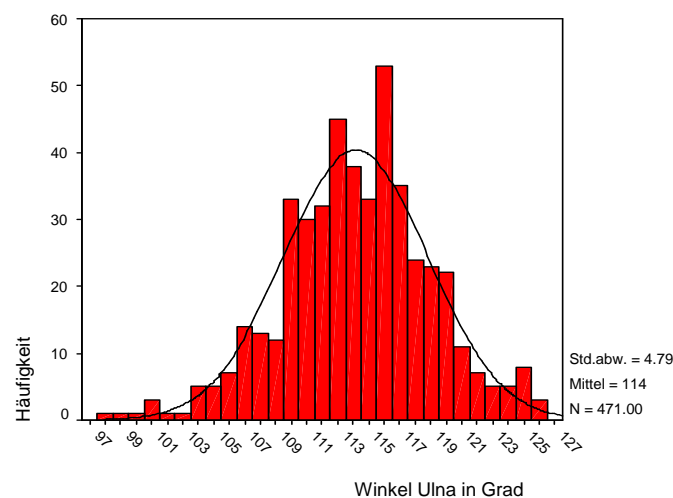


Abb. 34 Häufigkeitsverteilung des Ulna-Winkel (GR)

Der **Ulna-Winkel** beschreibt die Beteiligung der Ulna am Ellbogengelenk. Die Spannweite zwischen dem kleinsten und grössten Winkel beträgt 28° . Die gemessenen Werte sind normal verteilt (Abb. 34).

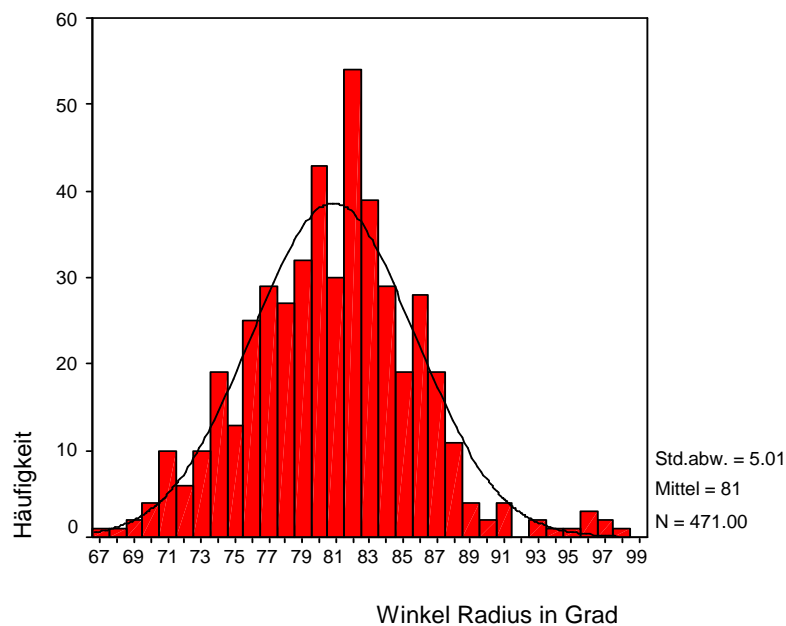


Abb. 35 Häufigkeitsverteilung des Radius-Winkel (GR)

Der **Radius-Winkel** beschreibt die Beteiligung des Radius am Ellbogengelenk. Die Spannweite zwischen dem kleinsten und grössten Winkel beträgt 32° und ist somit im Vergleich zu den anderen Winkeln am grössten. Die gemessenen Werte sind normal verteilt (Abb. 35).

Die Beziehung zwischen den einzelnen Winkeln und dem ED-Grad ist in den folgenden Kreuztabellen (Tab. 23-26) und grafisch als Boxplots (Abb. 36-39) festgehalten.

Tab. 23 Kreuztabelle: Häufigkeitsverteilung der Anconaeus-Winkel innerhalb der ED-Grade (GR)

Anzahl		ED-Grad				Gesamt
		0	1	2	3	
Anconaeus-Winkel (Grad)	20	1				1
	21	1	1			2
	22	8	3			11
	23	11	5			16
	24	22	5	1		28
	25	27	6	1		34
	26	44	10			54
	27	45	9	3		57
	28	54	6	3		63
	29	54	13	2		69
	30	34	9	1	1	45
	31	25	7	5	2	39
	32	14	3	3	3	23
	33	9	2	4		15
	34	4	2	1		7
	35	2	1			3
	36				1	1
	37			1		1
	38		1		1	2
Gesamt		355	83	25	8	471

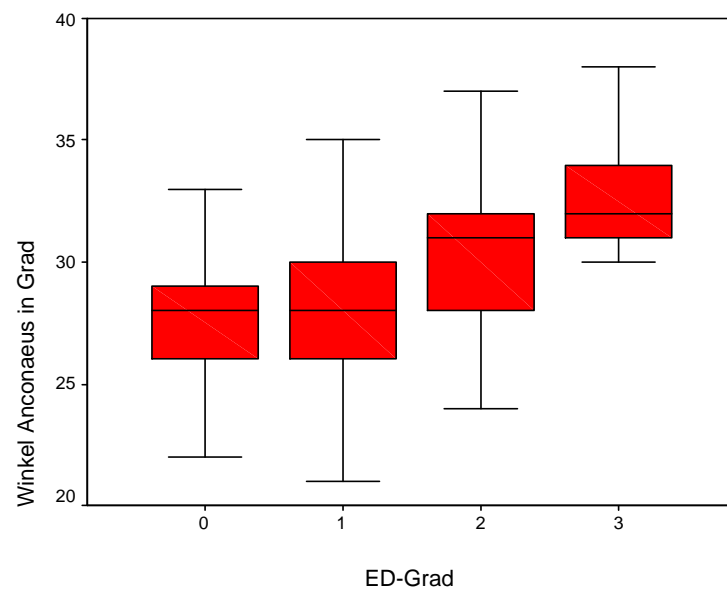


Abb. 36 Messwerte des Anconaeus-Winkels in Abhängigkeit vom ED-Grad (GR)

Tab. 24 Kreuztabelle: Häufigkeitsverteilung der Olecranon-Winkel innerhalb der ED-Grade (GR)

Anzahl		ED-Grad				Gesamt
		0	1	2	3	
Olecranon- Winkel (Grad)	14	1				1
	15	1				1
	16	1	1			2
	17	1				1
	18	2	1			3
	19	7				7
	20	13			1	14
	21	16	2			18
	22	21	2			23
	23	30	4		1	35
	24	24	8	1	1	34
	25	34	8	1		43
	26	44	11	1	1	57
	27	32	9	6		47
	28	36	9	3		48
	29	30	10	2		42
	30	25	6	3		34
	31	17	6		1	24
	32	7	3	2		12
	33	5	1	3	1	10
	34	5	2	1	1	9
	35	3		1	1	5
	37			1		1
Gesamt		355	83	25	8	471

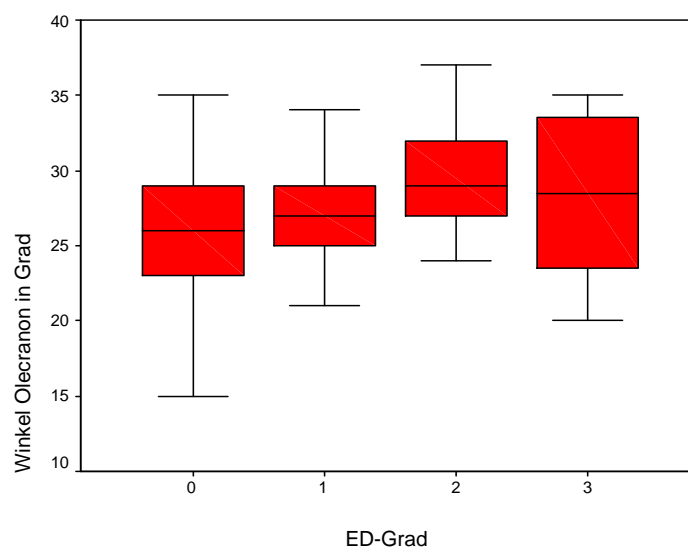


Abb. 37 Messwerte des Olecranon-Winkels in Abhängigkeit vom ED-Grad (GR)

Tab. 25 Kreuztabelle: Häufigkeitsverteilung der Ulna-Winkel innerhalb der ED-Grade (GR)

Anzahl		ED-Grad				Gesamt
		0	1	2	3	
Ulna-Winkel (Grad)	98	1				1
	99		1			1
	100	1				1
	101	2		1		3
	102				1	1
	103	1				1
	104	3	2			5
	105	2	2	1		5
	106	3	1	2	1	7
	107	9	4	1		14
	108	11	1		1	13
	109	6	4	1	1	12
	110	23	6	4		33
	111	21	6	2	1	30
	112	25	6	1		32
	113	33	7	5		45
	114	31	5	1	1	38
	115	29	3	1		33
	116	38	11	4		53
	117	27	7		1	35
	118	22	2			24
	119	17	6			23
	120	18	3	1		22
	121	8	2		1	11
	122	5	2			7
	123	5				5
	124	5				5
	125	8				8
	126	1	2			3
Gesamt		355	83	25	8	471

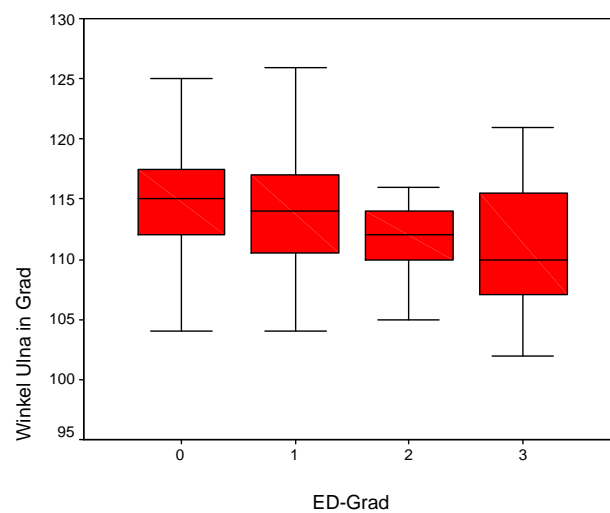


Abb. 38 Messwerte des Ulna-Winkels in Abhängigkeit vom ED-Grad (GR)

Tab. 26 Kreuztabelle: Häufigkeitsverteilung der Radius-Winkel innerhalb der ED-Grade (GR)

Anzahl		ED-Grad				Gesamt
		0	1	2	3	
Radius-Winkel (Grad)	67		1			1
	68	1				1
	69	2				2
	70	3	1			4
	71	7	2	1		10
	72	5	1			6
	73	8	2			10
	74	16	2	1		19
	75	9	4			13
	76	18	3	3	1	25
	77	24	5			29
	78	22	4	1		27
	79	27	5			32
	80	35	5	3		43
	81	20	2	8		30
	82	37	13	2	2	54
	83	27	11	1		39
	84	23	5		1	29
	85	14	3	1	1	19
	86	22	4	1	1	28
	87	13	4	2		19
	88	7	2		2	11
	89	2	2			4
	90	1	1			2
	91	4				4
	93	1		1		2
	94	1				1
	95	1				1
	96	3				3
	97	1	1			2
	98	1				1
Gesamt		355	83	25	8	471

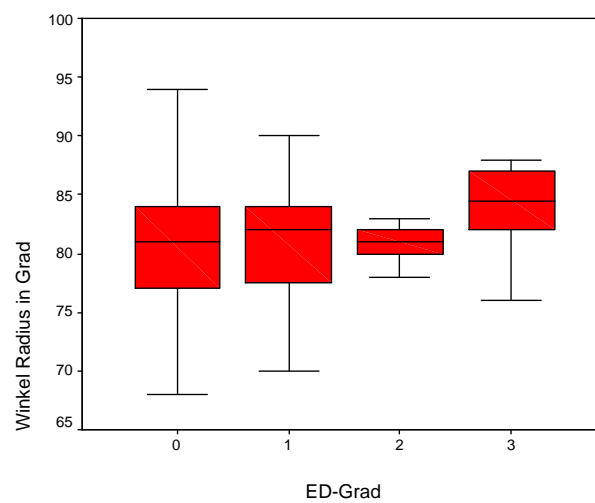


Abb. 39 Messwerte des Radius-Winkels in Abhängigkeit vom ED-Grad (GR)

Wie beim Deutschen Schäferhund lässt sich auch beim Golden Retriever eine Verschiebung der Verteilung der Messwinkel innerhalb der Arthrosegrade erkennen. Am deutlichsten nimmt der Anconaeuswinkel mit ansteigendem ED-Grad zu (Abb. 36). Auch der durchschnittliche Olecranonwinkel (Abb. 37) steigt mit steigendem ED-Grad, allerdings nur bis ED-Grad 2. Höhere ED-Grade führen zu keiner weiteren Zunahme des Winkels. Der Ulnawinkel sinkt mit steigendem ED-Grad, d.h. arthrosefreie Gelenke weisen einen grösseren Ulnawinkel auf als schlechte (Abb. 38). Der Radiuswinkel (Abb. 39) zeigt keine klare Verteilung der Winkelgrade. Nur bei ED-Grad 3 ist der durchschnittliche Winkel etwas grösser.

Die Häufigkeitsverteilung des Ellbogenqualitäts-Index (EQ) beim Golden Retriever ist normal. Der Minimalwert beträgt 0,79 und der Maximalwert 1,02, die Standardabweichung 0,03. Der Mittelwert liegt bei 0,90 (Abb. 40).

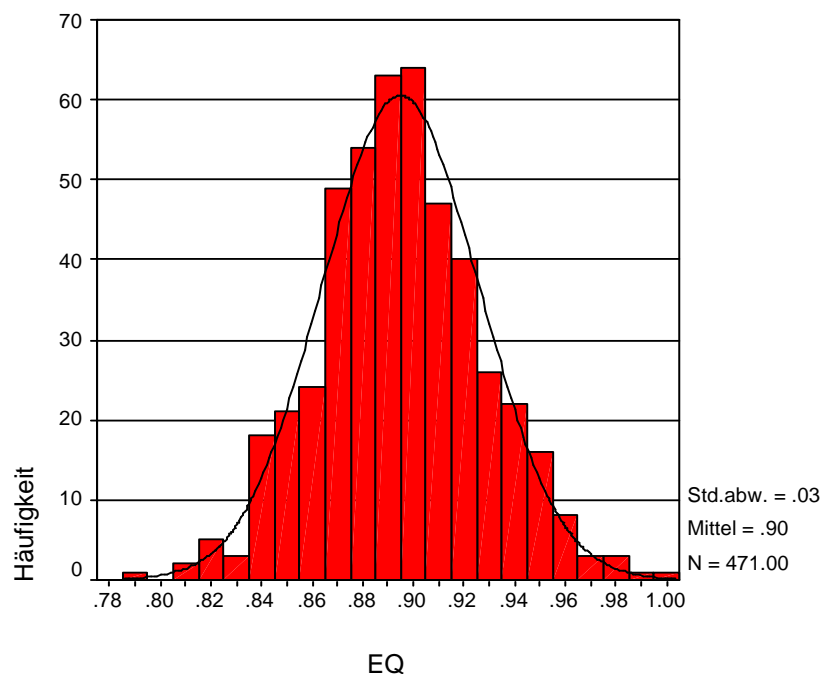


Abb. 40 Häufigkeitsverteilung des EQ beim Golden Retriever

Zwischen EQ-Index und ED-Grad besteht ein deutlich sichtbarer Zusammenhang (Abb. 41), jedoch mit starker Variation der Ellbogenqualität (EQ) innerhalb der ED-Grade (Tab. 25).

Tab. 27 Kreuztabelle: Häufigkeitsverteilung des EQ innerhalb der ED-Grade (GR)

Anzahl		ED-Grad				Gesamt
		0	1	2	3	
EQ	.79			1		1
	.81			1	1	2
	.82	2	1		2	5
	.83	2		1		3
	.84	10	5	3		18
	.85	12	5	3	1	21
	.86	20	3	1		24
	.87	34	10	5		49
	.88	37	13	3	1	54
	.89	49	12	2		63
	.90	51	9	3	1	64
	.91	37	7	2	1	47
	.92	31	9			40
	.93	23	2		1	26
	.94	20	2			22
	.95	14	2			16
	.96	6	2			8
	.97	3				3
	.98	2	1			3
	.99	1				1
	1.00	1				1
Gesamt		355	83	25	8	471

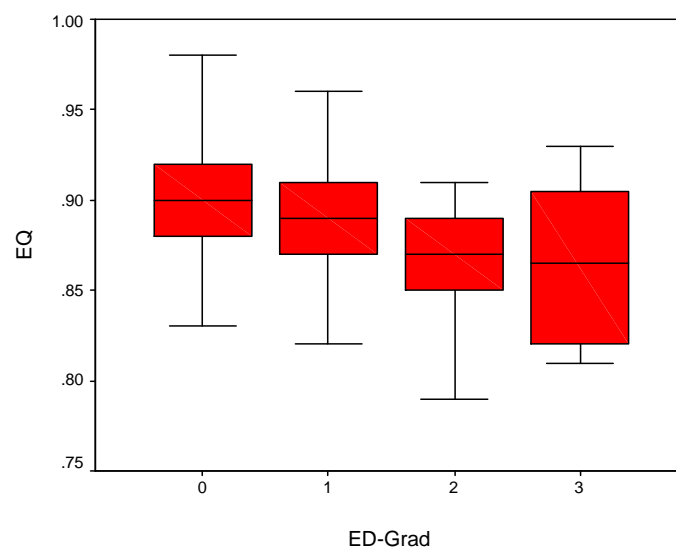


Abb. 41 EQ-Indizes bei unterschiedlichen ED-Graden (GR)

Im Gegensatz zu den Daten beim Deutschen Schäferhund sinkt der EQ-Index beim Golden Retriever mit steigendem ED-Grad. Diese negative Korrelation ist bis zu ED-Grad 2 deutlich erkennbar, während die EQ-Indizes innerhalb des ED-Grades 3 stark streuen und nicht weiter abnehmen.

In der folgenden Tabelle 28 werden alle gemessenen Winkel, der EQ-Index und der ED-Grad in einer Korrelationsmatrix gegenübergestellt:

Tab. 28 Korrelationsmatrix: Alle Winkel, EQ-Index und ED-Grad (GR)

		Anconaeus	Olecranon	Ulna	Radius	EQ	ED-Grad
Anconaeus	Korrelation nach Pearson	1.000	.272**	-.168**	.085	-.514**	.235**
	Signifikanz (2-seitig)	.	.000	.000	.066	.000	.000
	N	471	471	471	471	471	471
Olecranon	Korrelation nach Pearson	.272**	1.000	-.671**	-.160**	-.927**	.214**
	Signifikanz (2-seitig)	.000	.	.000	.000	.000	.000
	N	471	471	471	471	471	471
Ulna	Korrelation nach Pearson	-.168**	-.671**	1.000	-.443**	.774**	-.174**
	Signifikanz (2-seitig)	.000	.000	.	.000	.000	.000
	N	471	471	471	471	471	471
Radius	Korrelation nach Pearson	.085	-.160**	-.443**	1.000	-.100*	.061
	Signifikanz (2-seitig)	.066	.000	.000	.	.029	.188
	N	471	471	471	471	471	471
EQ	Korrelation nach Pearson	-.514**	-.927**	.774**	-.100*	1.000	-.251**
	Signifikanz (2-seitig)	.000	.000	.000	.029	.	.000
	N	471	471	471	471	471	471
ED-Grad	Korrelation nach Pearson	.235**	.214**	-.174**	.061	-.251**	1.000
	Signifikanz (2-seitig)	.000	.000	.000	.188	.000	.
	N	471	471	471	471	471	471

** . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

* . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

Zudem stellt der Korrelationskoeffizient einen linearen Zusammenhang dar, wobei, wie gezeigt wurde, eine nicht lineare Abhängigkeit sichtbar wurde.

In der Tab. 29 ist der Einfluss der einzelnen Gelenkwinkel zum ED-Grad in Form partieller Regressionen dargestellt. Anconaeus- und Olecranonwinkel zeigen eine signifikante Korrelation zum ED-Grad, während Ulna- und Radiuswinkel keine Signifikanz aufweisen. Die gesamte Schätzfunktion (hier ist die Zielgrösse ED und nicht der Genotyp für ED) ist jedoch hoch signifikant (siehe Tabelle 28). Die multiple Korrelation der Winkel zum ED-Grad beträgt $R = 0,29$.

Tab. 29 Multiple Regression (Korrelation) der Winkel zum ED-Grad (GR)

Koeffizienten^a

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
		B	Standardfehler	Beta		
1	(Konstante)	-3.164	2.363		-1.339	.181
	Anconeus	3.963E-02	.011	.178	3.755	.000
	Olecranon	3.521E-02	.015	.201	2.317	.021
	Ulna	4.260E-03	.013	.031	.337	.736
	Radius	1.203E-02	.009	.092	1.311	.190

a. Abhängige Variable: ED-Grad

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
1	.291 ^a	.085	.077	.631

a. Einflußvariablen : (Konstante), Radius, Anconeus, Olecranon, Ulna

Tab. 30 ANOVA-Tabelle: Regression der Winkel zum ED-Grad (GR)

ANOVA^b

Modell		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
1	Regression	17.194	4	4.298	10.800	.000 ^a
	Residuen	185.473	466	.398		
	Gesamt	202.667	470			

a. Einflußvariablen : (Konstante), Radius, Anconeus, Olecranon, Ulna

b. Abhängige Variable: ED-Grad

5.1.3 Labrador Retriever (LR)

Weibliche LR sind wesentlich häufiger ED frei als Rüden. Entsprechend zeigen Rüden gegenüber Hündinnen viel häufiger mittel- oder hochgradige ED (Tab. 31 und Abb. 42).

Tab. 31 Anzahl und prozentuale Verteilung der ED-Grade nach Geschlecht (LR)

			ED-Grad				Gesamt
			0	1	2	3	
Geschlecht	männlich	Anzahl	132	26	15	22	195
		% von Geschlecht	68%	13.3%	7.7%	11.3%	100.0%
	weiblich	Anzahl	264	42	8	14	328
		% von Geschlecht	80%	12.8%	2.4%	4.3%	100.0%
Gesamt		Anzahl	396	68	23	36	523
		% von Geschlecht	76%	13.0%	4.4%	6.9%	100.0%

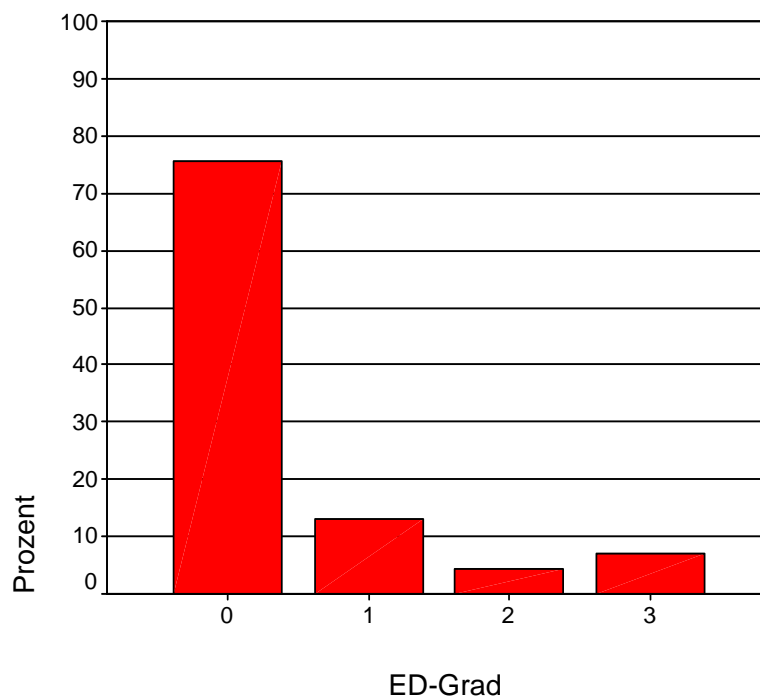


Abb. 42 Prozentuale Verteilung der ED-Grade (LR)

Das mittlere Röntgenalter der 523 untersuchten Labrador Retriever beträgt 17,9 Monate mit einer Standardabweichung von 6,6 Monaten. 50% der Hunde wurden im Alter zwischen 13 und 20 Monaten untersucht (Abb. 43).

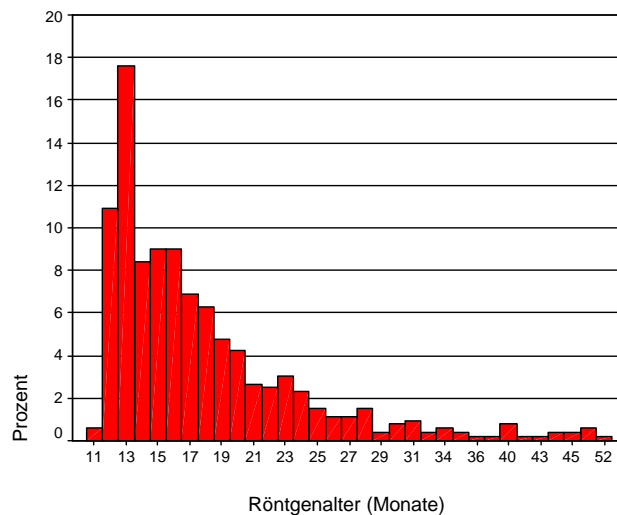


Abb. 43 Prozentuale Verteilung des Röntgenalters (LR)

Der Einfluss des Röntgenalters auf den EQ-Index und den ED-Grad ist nicht signifikant. Von den Winkeln ist einzig der Radiuswinkel vom Alter des Tieres signifikant beeinflusst (Tab. 32).

Tab. 32 Einfluss des Röntgenalters auf die vier Winkel, den EQ-Index und den ED-Grad (LR)

Modell	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
	B	Standard fehler	Beta		
1 (Konstante)	-118.040	88.609		-1.332	.183
Anconeus	.115	.246	.054	.468	.640
Olecranon	.824	.534	.515	1.542	.124
Ulna	.168	.138	.118	1.213	.226
Radius	.281	.108	.210	2.591	.010
EQ	76.914	75.160	.384	1.023	.307
ED-Grad	.390	.367	.051	1.063	.288

In der Balkengraphik der Abb. 44 sind über die Röntgenjahre 1997 bis 2002 praktisch keine Veränderungen in den ED-Grad Mittelwerten auszumachen.

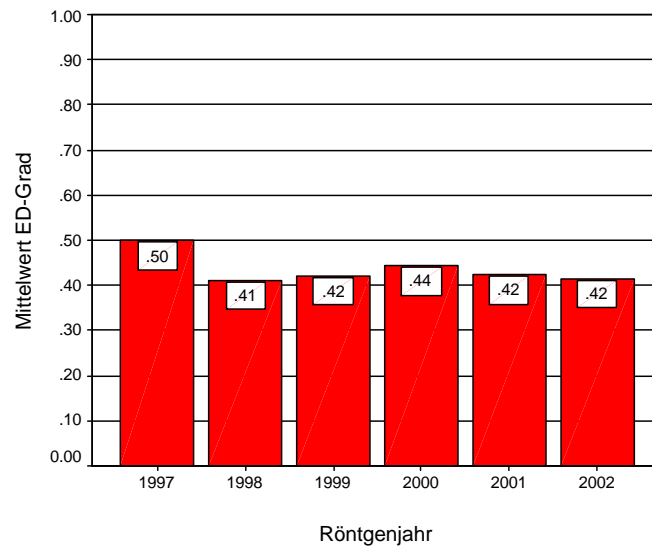


Abb. 44 ED-Grad Mittelwerte dargestellt nach Röntgenjahr (LR)

In der Boxplot-Darstellung ist das Röntgenalter der Hunde (in Monaten) über alle ED-Grade gleichmässig verteilt Abb. 45).

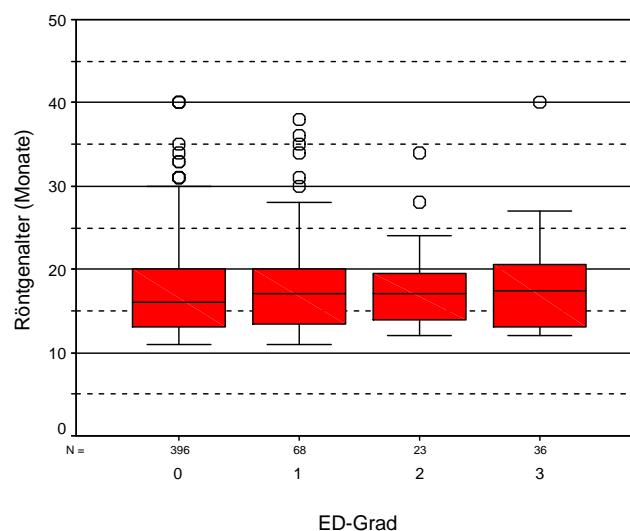


Abb. 45 Röntgenalter (in Monaten) aufgeteilt nach ED-Grad (LR)

Gepprüft wurde, ob die gemessenen Winkel beim LR geschlechtsabhängig sind (Tab. 33). Der Olecranon- und der Radiuswinkel zeigen eine signifikante

Geschlechtsdifferenz auf. Die EQ-Differenz zwischen den Geschlechtern ist nicht signifikant. Hoch signifikant ist aber der Unterschied des ED-Grad Mittelwertes, der bei den Rüden doppelt so hoch ausfällt als wie bei den Hündinnen.

Tab. 33 Mittelwertsvergleich der Winkel, der ED-Grade und des EQ nach Geschlecht (LR)

	weiblich	männlich	Differenz	Signifikanz
Anconeus	27.85	28.14	0.29	0.295
Olecranon	20.96	19.87	-1.09	0.003
Ulna	118.89	118.79	-0.1	0.817
Radius	83.70	84.95	1.25	0.005
EQ	0.93	0.94	0.01	0.083
ED-Grad	0.30	0.63	0.33	0.000

Die nachfolgenden Abbildungen 46 bis 49 zeigen die Verteilung der gemessenen Winkel (Mittelwerte der rechten und linken Ellbogengelenke).

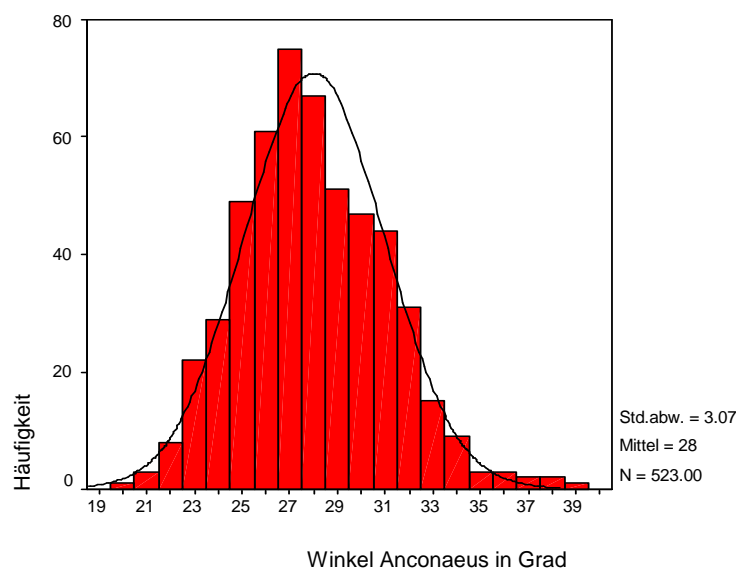


Abb. 46 Häufigkeitsverteilung des Anconeus-Winkel (LR)

Der **Anconeus-Winkel** beschreibt die nach kranial gerichtete Ausprägung (Länge) des Processus anconeus. Die Spannweite zwischen dem kleinsten und

größten Winkel beträgt 20° . Die gemessenen Winkel sind normal verteilt (Abb. 46).

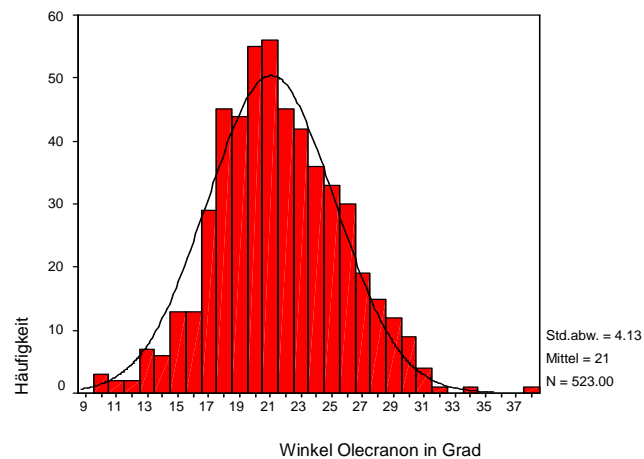


Abb. 47 Häufigkeitsverteilung des Olecranons-Winkel (LR)

Der **Olecranon-Winkel** beschreibt die Haltung des Olecranons zur Längsachse des Radius. Die Spannweite zwischen dem kleinsten und grössten Winkel beträgt 25° . Die gemessenen Winkel sind normal verteilt (Abb. 47).

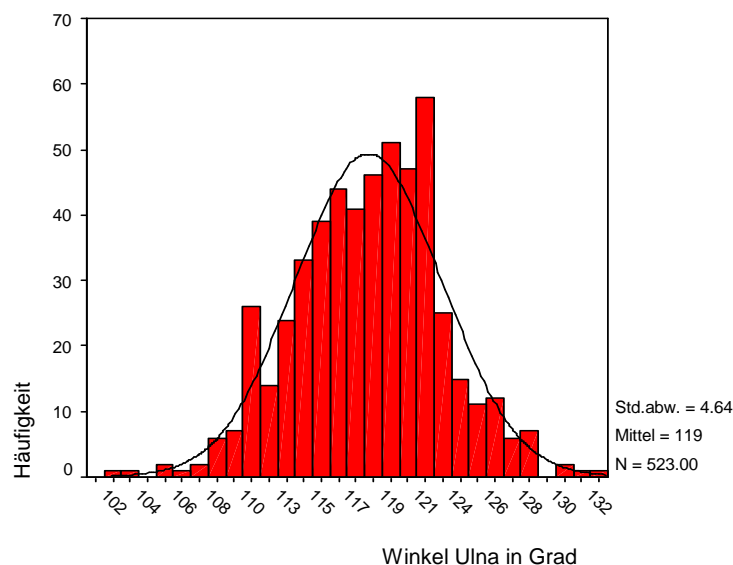


Abb. 48 Häufigkeitsverteilung des Ulna-Winkel (LR)

Der **Ulna-Winkel** beschreibt die Beteiligung der Ulna am Ellbogengelenk. Die Spannweite zwischen dem kleinsten und grössten Winkel beträgt 30° und ist im

Vergleich mit den anderen drei Winkeln am grössten. Die gemessenen Winkel sind kontinuierlich, aber nur andeutungsweise normal verteilt, mit deutlich positiver Schiefe (Abb. 48).

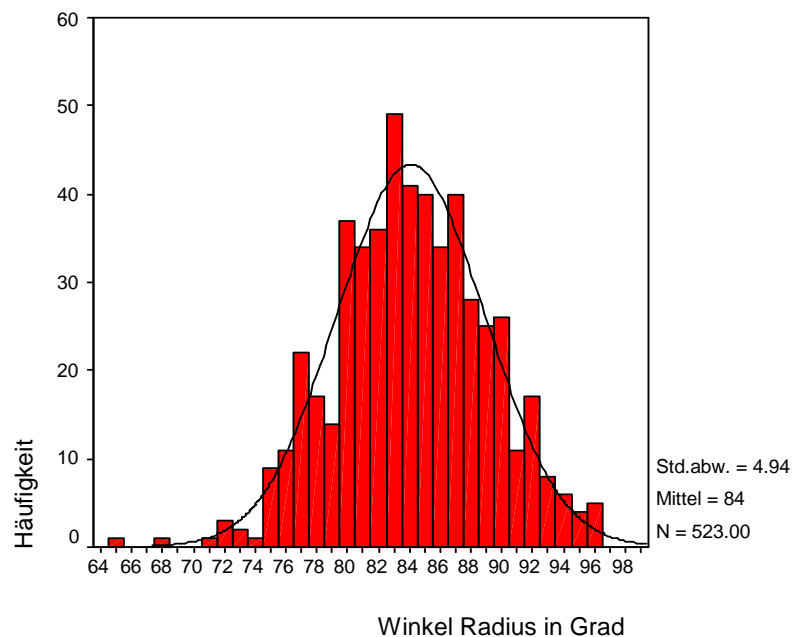


Abb. 49 Häufigkeitsverteilung des Radius-Winkel (LR)

Der **Radius-Winkel** beschreibt die Beteiligung des Radius am Ellbogengelenk. Die Spannweite zwischen dem kleinsten und grössten Winkel beträgt 29° . Die gemessenen Winkel sind normal verteilt (Abb. 49).

Die folgenden Kreuztabellen (Tab. 34-37) geben einen Überblick über die Verteilung der einzelnen Messwinkel innerhalb der ED-Grade. In den Boxplots (Abb. 50-53) sind die Mittelwerte und die Abweichungen graphisch dargestellt.

Tab. 34 Kreuztabelle: Häufigkeitsverteilung der Anconaeus-Winkel innerhalb der ED-Grade (LR)

Anzahl		ED-Grad				Gesamt
		0	1	2	3	
Anconaeus-Winkel (Grad)	20	1				1
	21	3				3
	22	8				8
	23	17	5			22
	24	23	5		1	29
	25	42	5	1	1	49
	26	54	3	2	2	61
	27	66	8		1	75
	28	46	15	1	5	67
	29	40	5	3	3	51
	30	33	10	2	2	47
	31	29	4	4	7	44
	32	21	2	2	6	31
	33	6	5	3	1	15
	34	5		2	2	9
	35	1	1	1		3
	36	1		1	1	3
	37				2	2
	38			1	1	2
	39				1	1
Gesamt		396	68	23	36	523

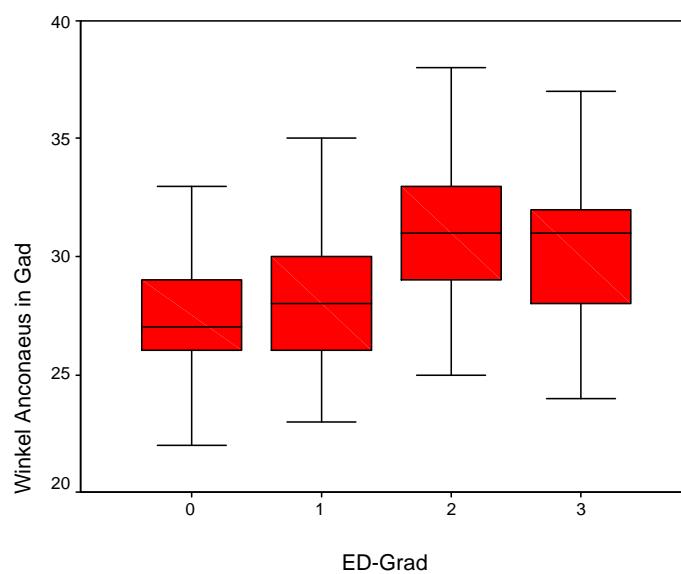


Abb. 50 Messwerte des Anconaeus-Winkels in Abhängigkeit vom ED-Grad (LR)

Tab. 35 Kreuztabelle: Häufigkeitsverteilung der Olecranon-Winkel innerhalb der ED-Grade (LR)

Anzahl		ED-Grad				Gesamt
		0	1	2	3	
Olecranon-	9	3				3
Winkel	10	2				2
(Grad)	11	2				2
	12	7				7
	13	6				6
	14	11	2			13
	15	11	2			13
	16	20	5	2	2	29
	17	38	5		2	45
	18	34	7	3		44
	19	45	4	2	4	55
	20	43	4	3	6	56
	21	35	4	2	4	45
	22	30	8	3	1	42
	23	28	4	1	3	36
	24	27	4		2	33
	25	23	6		1	30
	26	11	4	1	3	19
	27	7	2	2	4	15
	28	7	3		2	12
	29	4	2	2	1	9
	30	2		1	1	4
	31		1			1
	33		1			1
	37			1		1
Gesamt		396	68	23	36	523

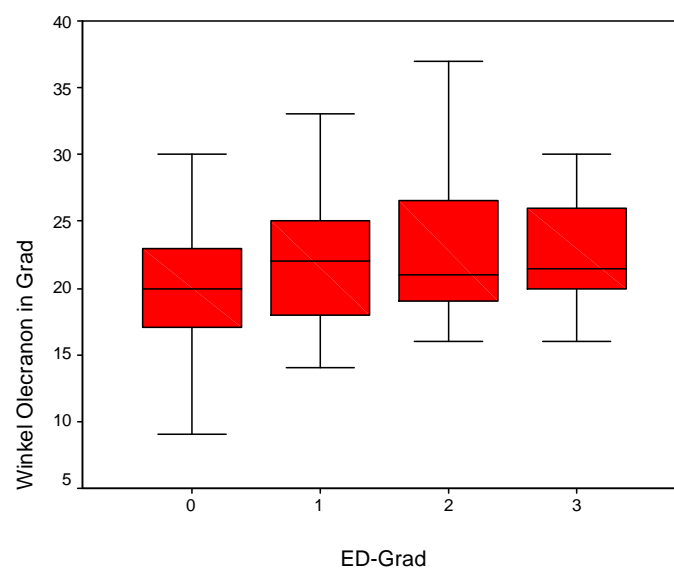


Abb. 51 Messwerte des Olecranon-Winkels in Abhängigkeit vom ED-Grad (LR)

Tab. 36 Kreuztabelle: Häufigkeitsverteilung der Ulna-Winkel innerhalb der ED-Grade (LR)

Anzahl		ED-Grad				Gesamt
		0	1	2	3	
Ulna-Winkel (Grad)	103			1		1
	104	1				1
	106		1		1	2
	107			1		1
	108	1		1		2
	109	2	1	1	2	6
	110	3		1	3	7
	111	4	3	2	1	10
	112	8	4	2	2	16
	113	11	2		1	14
	114	17	3		4	24
	115	21	9		3	33
	116	26	6		7	39
	117	33	4	5	2	44
	118	36	2		3	41
	119	39	4	1	2	46
	120	44	5	2		51
	121	38	7	1	1	47
	122	20	4	4	2	30
	123	24	2		2	28
	124	22	3			25
	125	12	2	1		15
	126	10	1			11
	127	10	2			12
	128	4	2			6
	129	6	1			7
	131	2				2
	132	1				1
	133	1				1
Gesamt		396	68	23	36	523

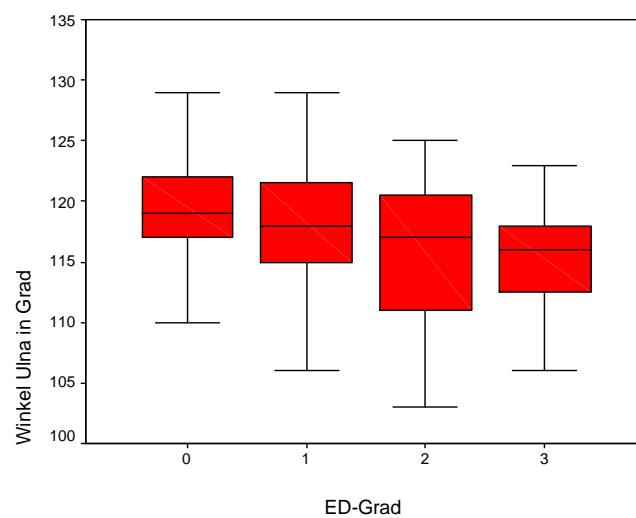


Abb. 52 Messwerte des Ulna-Winkels in Abhängigkeit vom ED-Grad (LR)

Tab. 37 Kreuztabelle: Häufigkeitsverteilung der Radius-Winkel innerhalb der ED-Grade (LR)

Anzahl		ED-Grad				Gesamt
		0	1	2	3	
Radius-Winkel (Grad)	65		1			1
	68	1				1
	71		1			1
	72	1	2			3
	73	2				2
	74	1				1
	75	9				9
	76	7	4			11
	77	16	4	2		22
	78	13	3		1	17
	79	10	1	2	1	14
	80	35	1	1		37
	81	24	7	2	1	34
	82	28	4		4	36
	83	39	7	1	2	49
	84	31	4	1	5	41
	85	33	6		1	40
	86	28	2	3	1	34
	87	26	5	4	5	40
	88	20	3	2	3	28
	89	19	2	1	3	25
	90	18	4	1	3	26
	91	4	4		3	11
	92	11	1	3	2	17
	93	7			1	8
	94	6				6
	95	3	1			4
	96	4	1			5
Gesamt		396	68	23	36	523

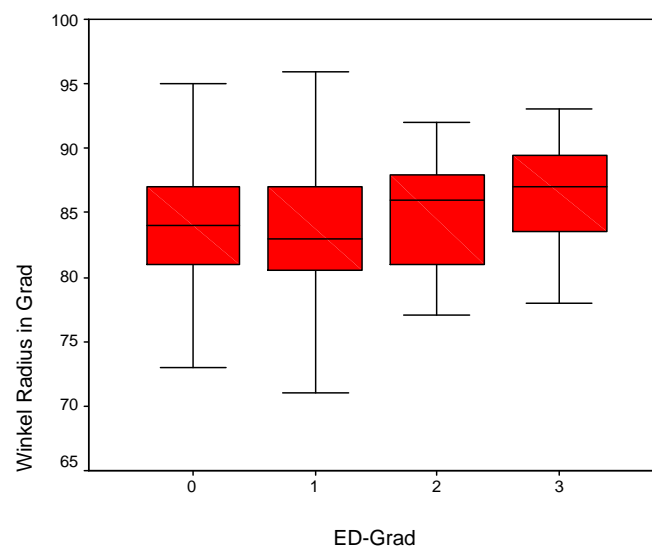


Abb. 53 Messwerte des Radius-Winkels in Abhängigkeit vom ED-Grad (LR)

Auch beim LR bestehen Beziehungen zwischen den einzelnen Winkelmessungen und dem ED-Grad. Anconaeus- und Olecranonwinkel sind bei steigendem ED-Grad leicht höher. Allerdings unterscheiden sich die Winkel zwischen ED-Grad 2 und 3 nicht weiter. Der Ulnawinkel nimmt bis ED-Grad 2 etwas ab (Abb. 52). Der Radiuswinkel nimmt erst bei höheren ED-Graden etwas zu (Abb. 53). Insgesamt können bei allen Winkeln Verschiebungen in der Verteilung der Messwinkel in Abhängigkeit zu den ED-Graden beobachtet werden.

Die Häufigkeitsverteilung des Ellbogenqualitäts-Index (EQ) beim Labrador Retriever ist normal (Abb. 54). Der Minimalwert beträgt 0,82 und der Maximalwert 1,02, die Standardabweichung 0,03. Der Mittelwert liegt bei 0.94.

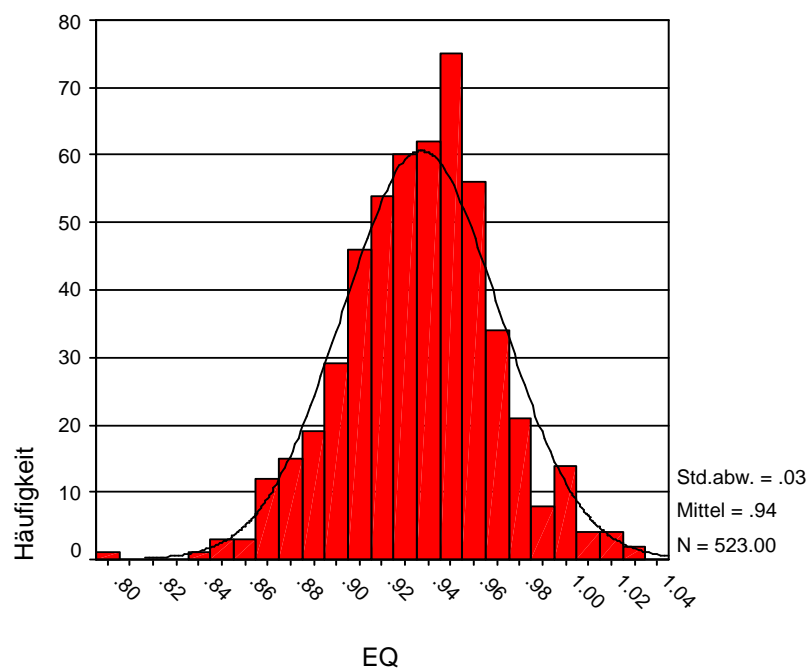
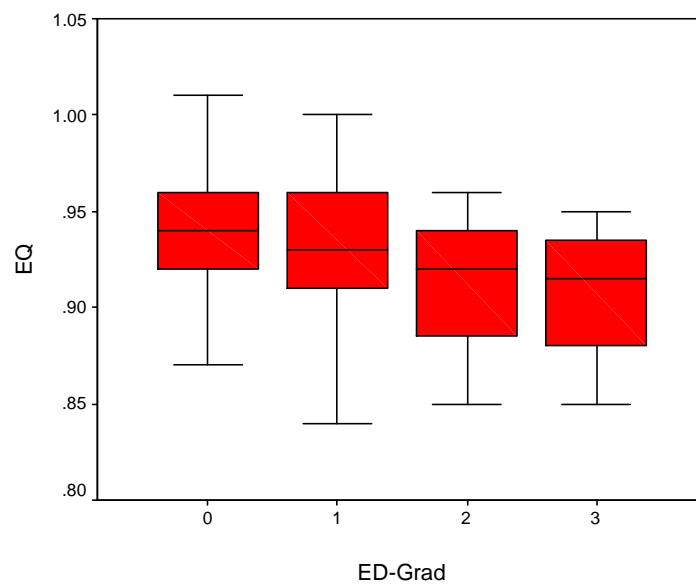


Abb. 54 Häufigkeitsverteilung des EQ beim Labrador Retriever

Tab. 38 Kreuztabelle: Häufigkeitsverteilung des EQ innerhalb der ED-Grade (LR)

Anzahl		ED-Grad				Gesamt
		0	1	2	3	
EQ	.80			1		1
	.84		1			1
	.85			2	1	3
	.86	1	1	1		3
	.87	4	2		6	12
	.88	8	2	2	3	15
	.89	11	3	2	3	19
	.90	18	7	1	3	29
	.91	36	8		2	46
	.92	41	6	3	4	54
	.93	46	6	3	5	60
	.94	45	8	4	5	62
	.95	64	5	2	4	75
	.96	42	12	2		56
	.97	31	3			34
	.98	19	2			21
	.99	7	1			8
	1.00	13	1			14
	1.01	4				4
	1.02	4				4
	1.03	2				2
Gesamt		396	68	23	36	523

**Abb. 55 EQ-Index bei unterschiedlichen ED-Graden (LR)**

Zwischen EQ- und ED-Wert besteht ein leichter Zusammenhang (Tab. 38 und Boxplot Abb. 55). Der EQ-Mittelwert sinkt mit steigendem ED-Grad leicht ab. Zwischen ED-Grad 2 und 3 besteht aber kein Unterschied mehr. Die Streuung v.a. bei ED-Grad 1 ist sehr gross.

In Tabelle 37 werden alle gemessenen Winkel, der EQ-Index und der ED-Grad in einer Korrelationsmatrix dargestellt:

Tab. 39 Korrelationsmatrix: Alle Winkel, EQ-Index und ED-Grad (LR)

		Anconaeus	Olecranon	Ulna	Radius	EQ	ED-Grad
Anconaeus	Korrelation nach Pearson	1.000	.120**	-.089*	-.001	-.391**	.338**
	Signifikanz (2-seitig)	.	.006	.042	.986	.000	.000
	N	523	523	523	523	523	523
Olecranon	Korrelation nach Pearson	.120**	1.000	-.742**	-.320**	-.933**	.202**
	Signifikanz (2-seitig)	.006	.	.000	.000	.000	.000
	N	523	523	523	523	523	523
Ulna	Korrelation nach Pearson	-.089*	-.742**	1.000	-.179**	.803**	-.269**
	Signifikanz (2-seitig)	.042	.000	.	.000	.000	.000
	N	523	523	523	523	523	523
Radius	Korrelation nach Pearson	-.001	-.320**	-.179**	1.000	.113**	.099*
	Signifikanz (2-seitig)	.986	.000	.000	.	.010	.024
	N	523	523	523	523	523	523
EQ	Korrelation nach Pearson	-.391**	-.933**	.803**	.113**	1.000	-.311**
	Signifikanz (2-seitig)	.000	.000	.000	.010	.	.000
	N	523	523	523	523	523	523
ED-Grad	Korrelation nach Pearson	.338**	.202**	-.269**	.099*	-.311**	1.000
	Signifikanz (2-seitig)	.000	.000	.000	.024	.000	.
	N	523	523	523	523	523	523

** . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

* . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

Alle Winkel korrelieren signifikant mit dem ED-Grad. EQ ist eine Funktion zur Beschreibung (Vorhersage) des ED bestimmenden Genotyps. Für die phänotypische Betrachtung ist die nachfolgende Auswertung relevant.

In Tabelle 40 ist der Einfluss der einzelnen Gelenkwinkel zum ED-Grad in Form partieller Regressionen dargestellt. Nur der Anconeus- und der Ulnawinkel zeigen signifikante Korrelationen zum ED-Grad. Die gesamte Schätzfunktion (hier für die Zielgrösse ED und nicht der Genotyp für ED) ist jedoch hoch signifikant (Tab. 39). Die multiple Korrelation der Winkel zum ED-Grad beträgt $R = 0,42$.

Tab. 40 Multiple Regression (Korrelation) der Winkel zum ED-Grad (LR)

Koeffizienten ^a						
		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten		
		B	Standardfehler	Beta		
1	(Konstante)	.737	2.683		.275	.784
	Anconeus	9.E-02	.011	.316	7.843	.000
	Olecranon	1.E-02	.017	.049	.601	.548
	Ulna	-.035	.015	-.190	-2.409	.016
	Radius	1.E-02	.010	.081	1.451	.147

a. Abhängige Variable: ED-Grad

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
1	.419 ^a	.176	.170	.787

a. Einflußvariablen : (Konstante), Radius, Anconeus, Ulna, Olecranon

Tab. 41 ANOVA-Tabelle: Regression der Winkel zum ED-Grad (LR)

ANOVA ^b						
Modell		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
1	Regression	68.578	4	17.145	27.650	.000 ^a
	Residuen	321.188	518	.620		
	Gesamt	389.767	522			

a. Einflußvariablen : (Konstante), Radius, Anconeus, Ulna, Olecranon

b. Abhängige Variable: ED-Grad

5.2 Vergleich der Ergebnisse zwischen DSH, LR und GR

Zur Erinnerung sind in Tab. 42 nochmals die drei untersuchten Hunderassen in ihrer zahlenmässigen und prozentualen Verteilung nach Geschlecht dargestellt.

Tab. 42 Anzahl und prozentuale Verteilung der drei Hunderassen nach Geschlecht

			Rasse			Gesamt
			Deutscher Schäferhund	Golden Retriever	Labrador Retriever	
Geschlecht	männlich	Anzahl	135	234	195	564
		%	23.9%	41.5%	34.6%	100.0%
	weiblich	Anzahl	95	237	328	660
		%	14.4%	35.9%	49.7%	100.0%
Gesamt		Anzahl	230	471	523	1224
		%	18.8%	38.5%	42.7%	100.0%

In der Tab. 43 sind die drei Hunderassen nach der Anzahl und prozentualen Verteilung innerhalb der ED-Grade dargestellt. Die Anzahl an ED freien Hunden ist bei allen drei Rassen ungefähr gleich gross. Hochgradige ED ist am häufigsten beim Labrador Retriever, etwas seltener beim Deutschen Schäferhund und nur vereinzelt beim Golden Retriever zu beobachten.

Tab. 43 Die drei Rassen im Vergleich: Anzahl und prozentuale Verteilung nach ED-Graden

			ED-Grad				Gesamt
			0	1	2	3	
Rasse	Dt.Schäferhund	Anzahl	178	35	7	10	230
		%	77.4%	15.2%	3.0%	4.3%	100.0%
	Golden Retriever	Anzahl	355	83	25	8	471
		%	75.4%	17.6%	5.3%	1.7%	100.0%
	Labrador Retriever	Anzahl	396	68	23	36	523
		%	75.7%	13.0%	4.4%	6.9%	100.0%
Gesamt	Anzahl	929	186	55	54	1224	
	%	75.9%	15.2%	4.5%	4.4%	100.0%	

Nach den jetzigen Zuchtvorschriften der Vereine können, bezogen auf die Ausschlusskriterien der ED, 93,0% der Golden Retriever, 92,6% der Deutschen

Schäferhunde und 88,7% der Labrador Retriever eine Zuchtzulassung (ED-Grad 0 und 1) erlangen.

In den folgenden Tabellen (Tab. 44-46) werden die drei Hunderassen nach ihren Mittelwerten der einzelnen Winkel, ED-Grade und EQ-Indizes verglichen.

Bei der Gegenüberstellung von Deutschem Schäferhund und Labrador Retriever (Tab. 42) unterscheiden sich die Mittelwerte alle Winkel ausser dem Anconaeuswinkel signifikant. Die Mittelwerte der ED-Grade zwischen diesen Rassen unterscheiden sich stark, sind jedoch nicht signifikant verschieden. Die EQ-Mittelwerte sind fast gleich gross, aber doch signifikant verschieden.

Tab. 44 Mittelwertsvergleich der Winkel, des EQ-Index und des ED-Grades mittels Gruppenstatistik (Deutscher Schäferhund und Labrador Retriever)

	Rasse	N	Mittelwert	Standard- abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	Diff.	p
Anconaeus	Dt.Schäferhund	230	27.89	2.97	0.19	-0.07	0.788
	Labrador Retriever	523	27.96	3.07	0.13		
Olecranon	Dt.Schäferhund	230	21.83	4.47	0.29	1.28	0.000
	Labrador Retriever	523	20.55	4.13	0.18		
Ulna	Dt.Schäferhund	230	116.99	5.01	0.33	-1.86	0.000
	Labrador Retriever	523	118.85	4.64	0.20		
Radius	Dt.Schäferhund	230	82.22	4.23	0.28	-1.95	0.000
	Labrador Retriever	523	84.17	4.94	0.22		
ED-Grad	Dt.Schäferhund	230	0.34	0.74	0.049	-0.08	0.217
	Labrador Retriever	523	0.42	0.86	0.038		
EQ	Dt.Schäferhund	230	0.93	0.04	0.002	-0.01	0.030
	Labrador Retriever	523	0.94	0.03	0.001		

Der Vergleich der Mittelwerte zwischen Deutschem Schäferhund und Golden Retriever (Tab. 43) sowie Labrador Retriever und Golden Retriever (Tab. 44) fallen die Ergebnisse gleichartig wie zwischen Deutschem Schäferhund und Labrador Retriever aus.

Tab. 45 Mittelwertsvergleich der Winkel, des EQ-Index und des ED-Grades mittels Gruppenstatistik (Deutscher Schäferhund und Golden Retriever)

	Rasse	N	Mittelwert	Standard-abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	Diff.	p
Anconaeus	Dt.Schäferhund	230	27.89	2.97	0.20	-0.10	0.673
	Golden Retriever	471	27.99	2.94	0.14		
Olecranon	Dt.Schäferhund	230	21.83	4.47	0.29	-4.57	0.000
	Golden Retriever	471	26.40	3.75	0.17		
Ulna	Dt.Schäferhund	230	116.99	5.01	0.33	2.75	0.000
	Golden Retriever	471	114.24	4.79	0.22		
Radius	Dt.Schäferhund	230	82.22	4.23	0.28	1.45	0.000
	Golden Retriever	471	80.77	5.01	0.23		
ED-Grad	Dt.Schäferhund	230	0.34	0.74	0.049	0.01	0.854
	Golden Retriever	471	0.33	0.66	0.030		
EQ	Dt.Schäferhund	230	0.93	0.04	0.002	0.03	0.000
	Golden Retriever	471	0.90	0.03	0.001		

Tab. 46 Mittelwertsvergleich der Winkel, des EQ-Index und des ED-Grades mittels Gruppenstatistik (Labrador Retriever und Golden Retriever)

	Rasse	N	Mittelwert	Standard-abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	Diff.	p
Anconaeus	Labrador Retriever	523	27.96	3.07	0.13	-0.03	0.853
	Golden Retriever	471	27.99	2.94	0.14		
Olecranon	Labrador Retriever	523	20.55	4.13	0.18	-5.85	0.000
	Golden Retriever	471	26.40	3.75	0.17		
Ulna	Labrador Retriever	523	118.85	4.64	0.20	4.61	0.000
	Golden Retriever	471	114.24	4.79	0.22		
Radius	Labrador Retriever	523	84.17	4.94	0.22	3.40	0.000
	Golden Retriever	471	80.77	5.01	0.23		
ED-Grad	Labrador Retriever	523	0.42	0.86	0.038	0.09	0.064
	Golden Retriever	471	0.33	0.66	0.030		
EQ	Labrador Retriever	523	0.94	0.03	0.001	0.04	0.000
	Golden Retriever	471	0.90	0.03	0.001		

Die EQ-Mittelwerte der drei Rassen unterscheiden sich. Den besten Wert erreicht der Labrador Retriever mit 0,94, gefolgt vom Deutschen Schäferhund mit 0,93 und dem Golden Retriever mit 0,90.

5.3 Genetische Analysen

5.3.1 Heritabilitäten beim Golden Retriever

Die Heritabilitäten wurden über Varianzkomponenten geschätzt, wobei neben der genetischen Komponente auch eine maternale Varianzkomponente und der Geschlechtseffekt berücksichtigt wurden.

Die **univariate** Varianzkomponentenschätzung ergab für den ED-Grad (schlechteres Gelenk) eine Heritabilität von $h^2 = 0,30$ ($\pm 0,069$, $n = 833$). Die Schätzung der Heritabilität betrug für den ED-Grad Mittelwert $h^2 = 0,377$ ($\pm 0,085$, $n = 833$). Danach erscheint es sinnvoll, beide Gelenke in die züchterische Einstufung zu integrieren. Für den EQ betrug die Heritabilität $h^2 = 0,592$ ($\pm 0,085$, $n = 443$).

Die **bivariate** Schätzung, bei der jeweils Zusatzinformationen aus dem anderen Merkmal einfließen, ist in Tabelle 47 dargestellt. Für den ED-Grad Mittelwert betrug die Schätzung $h^2 = 0,343$, für den EQ $h^2 = 0,589$ und als genetische Korrelation wurde $-0,478$ ermittelt.

Tab. 47 Heritabilität und genetische Korrelation von ED-Grad Mittelwert und EQ (GR)

	ED Ø	EQ
Heritabilität (h^2)	0,343	0,589
genet. Korrelation	- 0,478	

Sowohl für die offiziellen ED-Gutachten (ED-Grad), den ED-Grad Mittelwert (von beiden Seiten), als auch die Ellbogenqualität (EQ) war die maternale Varianzkomponente Null. Daher wurde für alle weiteren Analysen dieser Einfluss nicht mehr berücksichtigt.

Die Heritabilitätsschätzung für EQ, ohne maternalen Effekt, wurde für die beiden Ellbogen getrennt und im Mittelwert vorgenommen (Tab. 48). Die

Übereinstimmung ist sehr gut und besagt, dass die genetische Korrelation 1 beträgt.

Tab. 48 Heritabilität und genetische Korrelation von EQ rechts und links (GR)

	EQ rechts	EQ links
Heritabilität (h^2)	0,507	0,502
genet. Korrelation	1.000	

Auch die nach Seiten getrennte Heritabilität für die ED zeigte mit ED rechts $h^2=0,36$ und ED links $h^2=0,34$ sehr ähnliche Werte (Tab. 49). Die genetische Korrelation ist 1, was besagt, dass es keinen spezifischen Genotyp für den rechten und linken ED-Grad gibt.

Tab. 49 Heritabilität und genetische Korrelation von ED rechts und links (GR)

	ED rechts	ED links
Heritabilität (h^2)	0,362	0,335
genet. Korrelation	1,000	

Beschränkt man sich für die Schätzung der Heritabilität für ED auf die Datensätze, für die auch EQ vorliegt, reduziert sich das Datenvolumen auf $n=443$, jedoch mit vergleichbarer Familienstruktur und Begutachtung für alle Merkmale. In der **univariaten** Schätzung (ohne maternalen Effekt) ergab sich für den ED-Grad $h^2=0,226$ ($\pm 0,092$), für den ED-Grad ein Mittelwert $h^2=0,206$ ($\pm 0,088$) und für den EQ $h^2=0,599$ ($\pm 0,084$).

In der **bivariaten** Schätzung ergab sich für den ED-Grad $h^2=0,195$, für EQ $h^2=0,597$ und für die genetische Korrelation $-0,487$. Bei der Verwendung des ED-Grad Mittelwertes zeigte sich eine Heritabilität von $h^2=0,220$, für EQ $h^2=0,597$, wobei die genetische Korrelation $-0,442$ betrug.

Für den ED-Grad Mittelwert, in **multivariater** Schätzung mit den Winkeln, sind die Heritabilitäten und genetischen Korrelationen in Tabelle 50 zusammengestellt.

Tab. 50 Heritabilitäten (in der Diagonalen, fett gedruckt) und genetische Korrelationen (ausserhalb der Diagonalen) der Winkel- und ED-Grad Mittelwerte (GR)

	ED Ø	Anconaeus Ø	Olecranon Ø	Ulna Ø	Radius Ø
ED Ø	0,235	0,206	0,365	-0,433	0,540
Ancon. Ø		0,356	0,351	-0,255	0,275
Olecr. Ø			0,481	-0,658	0,111
Ulna Ø				0,489	-0,594
Radius Ø					0,415

5.3.2 Heritabilitäten beim Labrador Retriever

Beim Labrador Retriever ergab sich aus den Ergebnissen der Varianzkomponentenschätzung, dass eine maternale Beeinflussung der Merkmale vorliegt. In der **univariaten** Schätzung zeigte sich am umfangreichen Datenmaterial aller begutachteten Tiere (n= 1287) eine Heritabilität der ED von 0,058 (\pm 0,031) und eine relative maternale Varianz von 0,028 (\pm 0,019). Für den EQ-Index betrug die Heritabilität 0,342 (\pm 0,108), die maternale Varianz $m^2 = 0,069$ (\pm 0,045). Diese Schätzungen beruhten auf den EQ-Messungen der 508 Tiere.

In der **bivariaten** Schätzung von ED und EQ, beschränkt auf die Tiere bei denen ED und EQ gleichzeitig vorlagen, ergab sich für ED $h^2 = 0,13$ und für EQ $h^2 = 0,37$. Die relative maternale Varianz war bei ED $m^2 = 0,08$ und bei EQ $m^2 = 0,06$. Während die maternale Korrelation einen 100%igen antagonistischen

Zusammenhang (-1,00) zeigte, war die geschätzte genetische Korrelation entgegen der hohen negativen Erwartung mit 0,17 gering positiv (Tab. 51).

Tab. 51 Heritabilität und genetische Korrelation sowie relative maternale Varianz und maternale Korrelation von ED und EQ (LR)

	ED	EQ
Heritabilität (h^2)	0,133	0,366
genet. Korrelation	0,17	
rel. mat. Varianz (m^2)	0,081	0,062
maternale Korrelation	-1.000	

Auch beim Labrador Retriever wurden die Heritabilitäten für die beiden Seiten getrennt geschätzt (Tabelle 52). Die Heritabilität des EQ der rechten Seite war mit $h^2 = 0,279$ etwas niedriger als die der linken Seite mit $h^2 = 0,299$, die genetische Korrelation betrug aber wiederum 1,0.

Tab. 52 Heritabilität und genetische Korrelationen sowie relative maternale Varianz und maternale Korrelation von EQ rechts und links (LR)

	EQ rechts	EQ links
Heritabilität (h^2)	0,279	0,299
genet. Korrelation	1.000	
rel. mat. Varianz (m^2)	0,052	0,071
mat. Korrelation	1.000	

In Tabelle 53 sind die **bivariat** geschätzten Heritabilitäten und Korrelationen sowie die relative maternale Varianz und maternale Korrelation der rechten und linken ED-Grade dargestellt. Die geschätzte Heritabilität für die ED-Gutachten

war rechts $h^2 = 0,039$ und links $h^2 = 0,225$. Die relative maternale Varianz betrug rechts 0,044 und links 0,176.

Tab. 53 Heritabilität und genetische Korrelation, sowie relative maternale Varianz und maternale Korrelation von ED rechts und links (LR)

	ED rechts	ED links
Datenbasis	n= 508	
Heritabilität (h^2)	0,039	0,225
genet. Korrelation	1,000	
rel. mat. Varianz (m^2)	0,044	0,176
mat. Korrelation	1,000	

In Tabelle 54 sind die **multivariat** geschätzten Heritabilitäten und genetischen sowie maternalen Korrelationen für die einzelnen Winkel und die ED der rechten Ellbogengelenke dargestellt. Mit $h^2 = 0,472$ wies der Olecranonwinkel die höchste Heritabilität auf, mit $h^2 = 0,182$ der Ulnawinkel die kleinste. Die genetische und die maternale Heritabilität der ED rechts war mit $h^2 = 0,030$ in etwa gleich gross.

Tab. 54 Heritabilitäten und genetische Korrelationen sowie relative maternale Varianz und maternale Korrelationen der Winkel und der ED rechter Ellbogengelenke (n= 509) (LR)

		Anconaeus re	Olecranon re	Ulna re	Radius re	ED rechts
genetische Parameter	Anc. re	0,199	-0,297	0,641	0,103	0,987
	Olec. re		0,472	-0,881	0,172	-0,251
	Ulna re			0,182	-0,339	0,560
	Rad. re				0,103	0,262
	ED re					0,030
maternale Parameter	Anc. re	0,052	0,665	-0,088	-0,980	0,081
	Olec. re		0,071	-0,657	-0,507	0,796
	Ulna re			0,095	-0,066	-0,771
	Rad. re				0,098	0,116
	ED re					0,031

Die entsprechenden Werte für die linken Ellbogen sind in Tabelle 53 dargestellt. Mit $h^2 = 0,391$ wies der Olecranonwinkel die höchste Heritabilität auf, mit $h^2 = 0,279$ der Anconaeuswinkel die kleinste. Ein deutlicher Unterschied bestand in der Heritabilität zwischen der ED-rechts ($h^2 = 0,030$) und der ED-links ($h^2 = 0,25$).

Tab. 55 Heritabilitäten und genetische Korrelationen sowie relative maternale Varianz und maternale Korrelationen der Winkel und der ED linker Ellbogengelenke (n= 509) (LR)

		Anconaeus li	Olecranon li	Ulna li	Radius li	ED links
genetische Parameter	Anc. li	0,279	-0,109	0,256	-0,039	0,528
	Olec. li		0,391	-0,809	-0,491	-0,259
	Ulna li			0,282	0,206	0,386
	Rad. li				0,321	0,214
	ED li					0,250
maternale Parameter	Anc. li	0,047	0,505	-0,138	-0,152	0,567
	Olec. li		0,028	-0,362	-0,218	0,292
	Ulna li			0,035	-0,831	-0,847
	Rad. li				0,067	0,716
	ED li					0,161

5.3.3 Rassetypische EQ-Gewichtung

Die Definition der Ellbogenqualität (EQ) basiert auf Parametern, die vom Rottweiler abgeleitet sind. Heritabilitäten und Varianzen, auch die Kovarianzen zwischen den Winkeln und zur Arthrose (bzw. ED-Gutachten) variieren von Rasse zu Rasse. Die in dieser Arbeit geschätzten Parameter für den Labrador Retriever und den Golden Retriever erlauben es, die Gewichtung spezifisch zu ermitteln.

Golden Retriever

In Tabelle 56 ist die zugrunde liegende phänotypische, in Tabelle 57 die genetische Varianz-Kovarianzmatrix aufgeführt. Sie sind aus den Korrelationsmatrizen und den multivariaten Schätzungen der Heritabilität und genetischen Korrelationen abgeleitet worden. Diese werden vom Programm SIP⁷⁹ nach Eingabe der Korrelationsmatrizen, der phänotypischen Varianzen und der Heritabilitäten berechnet und ausgewiesen.

Tab. 56 Phänotypische Varianz-Kovarianz Matrix (GR)

ED Ø	Ancon. Ø	Olecr. Ø	Ulna Ø	Radius Ø
0,254	0,274	0,286	0,021	0,428
	8,352	3,415	3,419	4,255
		12,74	- 2,518	1,102
			21,53	5,353
				25,60

Tab. 57 Genetische Varianz-Kovarianz Matrix (GR)

ED Ø	Ancon. Ø	Olecr. Ø	Ulna Ø	Radius Ø
0,058	0,086	0,219	- 0,334	0,425
	3,01	1,507	- 1,435	1,554
		6,13	- 5,286	0,896
			10,53	- 6,283
				10,63

Die nachfolgenden Berechnungen basieren auf ED-Grad Mittelwerten und Winkel-Mittelwerten, geschätzt mit maternalem Effekt. Als Gewichtung der Winkel ergibt sich für

Anconaeus: 0,00436, Olecranon: 0,01029, Ulna: -0,0214, Radius: 0,01965

Bei antagonistischer Definition von EQ zur ED sind die Vorzeichen umzukehren. Die Standardisierung auf eine zu Mues³ vergleichbare Variation und auf ein Niveau, dass die Besten einen Index von 1 erhalten, ist eine reine Skalenverschiebung und hat für die nachfolgenden Betrachtungen keine Bedeutung.

Die Varianz des Index ist 0,133, die Korrelation zum Genotyp von ED beträgt -0,552. Im Vergleich dazu beträgt die Korrelation beim allgemein definierten EQ nach Mues -0,289. Dieser Wert ergibt sich aus $h \times r_G$, also der Wurzel aus der Heritabilität von EQ mal der genetischen Korrelation zwischen EQ und ED. Die Winkel alleine, optimal rassespezifisch gewichtet, haben auch eine höhere Aussagekraft für ED, als die ED-Gutachten mit einer Heritabilität von $h^2 = 0,23$ (univariat). Hier ist die Korrelation zwischen Phänotyp (ED-Gutachten) und Genotyp 0,48. Es gibt noch die Option, die Winkel ergänzend zu der Information aus den ED-Gutachten heranzuziehen. Die Gewichtungen sind dann

ED: 0,1943, Anconaeus: 0,0002, Olecr.: 0,0074, Ulna: -0,0194, Radius: 0,0171

Der Index hat dann eine Standardabweichung von 0,164 und die Aussagekraft (Korrelation) für den Genotyp von ED ist 0,678. Die verschiedenen Optionen lassen sich für die Korrelationen zum Genotyp für ED wie folgt zusammenstellen:

ED-Grad Mittelwert: 0,484
 EQ (allgemein): 0,360
 EQ (Golden Retriever): 0,553
 ED mit Winkeln: 0,678

Labrador Retriever

In Tabelle 58 ist die zugrunde liegende phänotypische, in Tabelle 59 die genetische Varianz-Kovarianzmatrix aufgeführt. Sie sind aus den Korrelationsmatrizen und den multivariaten Schätzungen der Heritabilität und genetischen Korrelationen abgeleitet worden. Die nachfolgenden Berechnungen basieren auf Heritabilitäten und genetischen Korrelationen von ED-Grad Mittelwerten und Winkel-Mittelwerten, geschätzt mit maternalem Effekt.

Tab. 58 Phänotypische Varianz-Kovarianz Matrix (LR)

ED Ø	Ancon. Ø	Olecr. Ø	Ulna Ø	Radius Ø
0,447	0,503	0,022	- 0,380	1,247
	8,585	0,787	- 0,357	1,464
		16,56	- 13,49	- 7,71
			20,34	- 3,79
				30,14

Tab. 59 Genetische Varianz-Kovarianz Matrix (GR)

ED Ø	Ancon. Ø	Olecr. Ø	Ulna Ø	Radius Ø
0,034	0,280	- 0,066	0,089	0,172
	2,618	- 0,510	1,316	0,594
		8,846	- 5,481	- 2,312
			5,553	- 3,404
				8,349

Der optimierte Index für den Labrador Retriever aus den Winkeln führt zu folgender Winkel-Gewichtung

Anconaeus: 0,0312, Olecranon: 0,0065, Ulna: 0,0106, Radius: 0,0072

Die Standardabweichung des Indizes ist 0,102 und die Übereinstimmung mit dem Genotyp von ED ist $r = 0,552$. Die Einbeziehung des ED-Gutachtens in den Index bewirkt eine Gewichtung von

ED: 0,0373, Anconaeus: 0,0294, Olecr.: 0,0054, Ulna: 0,0102, Radius: 0,0054

mit der Auswirkung, dass sich die Korrelation zwischen Index und ED-Genotyp auf 0,5652 erhöht, also unbedeutend gegenüber dem Winkel-Index. Begründet wird dies durch die niedrige Heritabilität der ED-Gutachten beim Labrador Retriever ($h^2 = 0,13$).

Die Zusammenstellung der verschiedenen Informations-Optionen ergibt sich für die Korrelationen zum Genotyp für ED, im Mittel beider Seiten:

ED-Grad Mittelwert:	0,360
EQ (allgemein):	0,244
EQ (Labrador Retriever):	0,552
ED mit Winkeln:	0,565

5.4 Methodische Prüfung der Vermessungstechnik

5.4.1 Bildqualität

Abbildung 56 zeigt ein technisch optimales digitales Ellbogen-Röntgenbild eines Deutschen Schäferhundes, welches sich zur Vermessung gut eignet. Die wichtigen Gelenkspunkte Processus anconaeus, tiefste Stelle zwischen Processus anconaeus und Olecranon, Gelenkspalt zwischen Ulna und Radius und der kraniale Radiuskopf sind gut sichtbar. Die Originalauflösung beträgt 640 x 512 Pixel.



Abb. 56 optimale Bildqualität eines Ellbogengelenkes (DSH)

Abbildung 57 zeigt links ein unterbelichtetes und rechts ein überbelichtetes Ellbogen-Röntgenbild. Die Bilder konnten trotz vorgängiger Optimierung von Helligkeit und Kontrast nicht genügend korrigiert werden. Kaum bestimmbar sind die Spitze des Processus anconaeus (1) und der Gelenkspalt zwischen Ulna und Radius (2) links, sowie die Olecranongrube (3) und der craniale Punkt des Radiuskopfes (4) rechts.

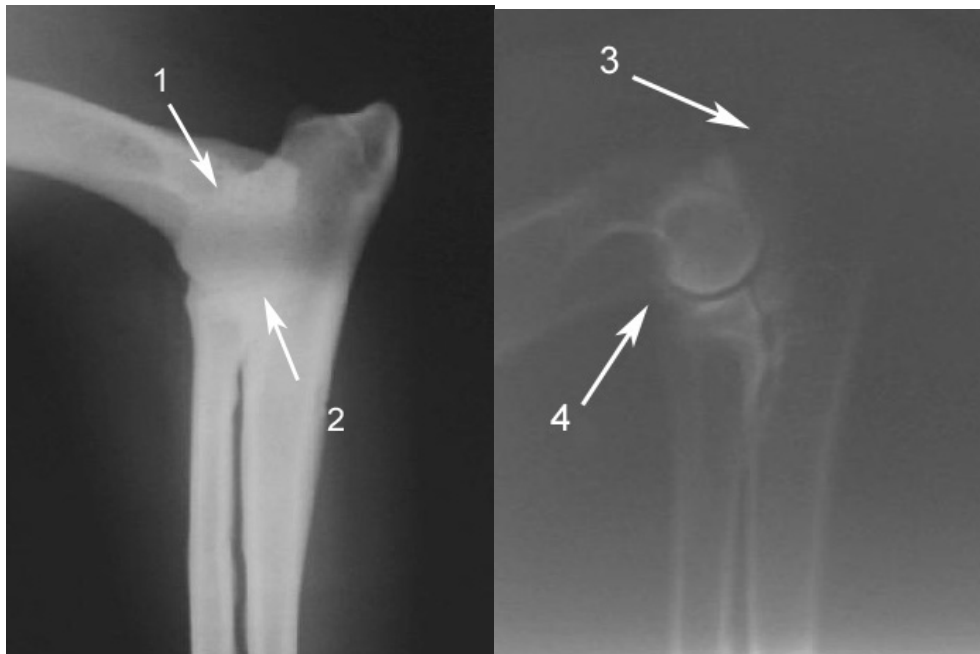


Abb. 57 links: unterbelichtetes Röntgenbild; rechts: überbelichtetes Röntgenbild

5.4.2 ED-Status

Primärläsionen wiesen insgesamt 51 Hunde auf. Hunde mit LPA wurden nicht berücksichtigt, da die ursprüngliche Gelenks- und Knochenstruktur enorm verändert sind, so dass sie nicht ausgemessen werden können. Am häufigsten trat bei allen Rassen der FPCM auf, gefolgt von der OCD und einer Kombination von FPCM und OCD (Tab. 60).

Tab. 60 Prozentuale Verteilung der Primärläsionen innerhalb der Rassen

		Rasse		
		DSH	GR	LR
Anzahl der Hunde mit Primärläsion	FPCM	7	6	22
	FPCM+OCD	-	-	3
	OCD	1	2	10
Total Hunde		8	8	35
Anteil pro Rasse		3,50%	1,70%	6,70%

In der Tabelle 61 sind die EQ-Mittelwerte bei Hunden mit einer Primärläsion dargestellt. Die Doppelläsion FPCM+OCD weist den kleinsten, die Primärläsion OCD den grössten EQ-Index auf.

Tab. 61 EQ-Mittelwertsvergleich der Primärläsionen

EQ			
PRIMÄR-LÄSION	Mittelwert	N	Standard-abweichung
FPCM	.90000	35	.035192
FPCM+OCD	.88400	3	.013748
OCD	.90938	13	.051655
Insgesamt	.90145	51	.039067

In der Tabelle 62 wird der Zusammenhang zwischen den Primärläsionen und den EQ-Mittelwerten (=Durchschnitts-EQ ohne Primärläsion aller drei Hunderassen) aufgezeigt. Nur beim FPCM und bei der OCD bestehen geringgradige Differenzen. Die grösste Differenz der EQ-Mittelwerte zeigt die Doppelläsion FPCM+OCD. Trotz dieser Differenz unterscheidet sich der EQ bei den Hunden mit Primärläsion nicht signifikant von Hunden ohne Primärläsion.

Tab. 62 EQ-Mittelwerte mit und ohne Primärläsion im Vergleich

	EQ mit Primärläsion	EQ ohne Primärläsion	Differenz	Signifikanz
FPCM	0.900	0.919	0.019	0.670
FPCM+OCD	0.884	0.919	0.035	0.107
OCD	0.909	0.919	0.010	0.071

Bei den folgenden drei Ellbogengelenken mit ED-Grad 3 (Abb. 58-60 und Tab. 63-65) wurden die Winkel einmal mit und einmal ohne Zubildungen gemessen. Werden die arthrotischen Zubildungen mitberücksichtigt, sind die Winkel von Anconaeus, Ulna und Radius bei allen drei Gelenken deutlich grösser als bei Berücksichtigung der ursprünglichen Knochenkontur. Der Olecranonwinkel hingegen nimmt ab. Auch die EQ-Indizes unterscheiden sich deutlich: Werden die arthrotischen Zubildungen mitgemessen (wenn ursprüngliche Knochenkontur nicht mehr erkennbar ist), nimmt der EQ-Index deutlich zu, die Aussage wird also entgegen dem Aussageziel verfälscht.



Abb. 58 ED-Grad 3 ; Deutscher Schäferhund

Tab. 63 Gelenks-Winkel in Grad und EQ-Index

Winkel	ohne Arthrose	mit Arthrose
Anconaeus	27.46	30.27
Olecranon	20.50	8.69
Ulna	109.52	119.98
Radius	78.87	94.34
EQ	0.93	1.00



Abb. 59 ED-Grad 3 ; Deutscher Schäferhund

Tab. 64 Gelenks-Winkel in Grad und EQ-Index

Winkel	ohne Arthrose	mit Arthrose
Anconaeus	26.53	33.08
Olecranon	19.98	13.13
Ulna	115.77	122.04
Radius	73.58	90.95
EQ	0.95	0.97



Abb. 60 ED-Grad 3 ; Labrador Retriever

Tab. 65 Gelenks-Winkel in Grad und EQ-Index

Winkel	ohne Arthrose	mit Arthrose
Anconaeus	32.49	32.89
Olecranon	25.97	17.30
Ulna	108.31	114.16
Radius	80.20	100.00
EQ	0.88	0.92

5.4.3 Ellbogenprojektion

Ellbogenöffnungswinkel

In der deskriptiven Statistik (Tab. 66) werden die Mittelwerte der Anconaeus- und Olecranonwinkel abhängig von den Gelenkstellungen aufgelistet. Minimale Unterschiede zeigen sich beim Anconaeuswinkel, dagegen fallen etwas grössere Abweichungen beim Olecranonwinkel auf.

Tab. 66 Deskriptive Statistik der beiden Winkel Anconaeus (A) und Olecranon (O)

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard- abweichung
A links Extension	10	19.6	39.3	24.7	5.9
A links neutral	10	18.8	32.8	25.0	4.1
A links Flexion	10	18.5	33.7	25.9	3.9
O links Extension	10	8.6	27.2	18.0	5.2
O links neutral	10	7.2	25.4	17.9	5.2
O links Flexion	10	7.0	25.4	15.5	5.9

Signifikante Unterschiede bestehen einzig beim Olecranonwinkel (T-Test, Tab. 67). Mit einer Korrelation von 0,978 sind die Olecranonwinkel in der neutralen zur gestreckten Haltung am ähnlichsten, während mit 0,845 die Anconaeuswinkel in der gestreckten zur gebeugten Haltung am stärksten differieren.

Tab. 67 T-Test bei gepaarten Stichproben: Winkel Anconaeus (A) und Winkel Olecranon (O)

		Mittelwert der gepaarten Diff.	95% Konfidenz- intervall der Diff.		T	p	Korr. Koeff.
			Untere	Obere			
Paar 1	A links neutral - A links Extension	0.345	-1.778	2.469	0.368	0.721	0.884
Paar 2	A links neutral - A links Flexion	-0.868	-2.324	0.589	-1.348	0.211	0.873
Paar 3	A links Extension - A links Flexion	-1.213	-3.594	1.168	-1.153	0.279	0.845
Paar 4	O links neutral - O links Extension	-0.127	-0.917	0.664	-0.363	0.725	0.978
Paar 5	O links neutral - O links Flexion	2.390	0.510	4.271	2.875	0.018	0.894
Paar 6	O links Extension - O links Flexion	2.517	0.495	4.539	2.816	0.020	0.877

Der Mittelwert des Ulnawinkels ist in der gebeugten Haltung deutlich niedriger als in der neutralen und gestreckten Haltung (Tab. 68). Auch die Mittelwerte des Radiuswinkels variieren je nach Haltung. So ist der Mittelwert bei gestreckter Haltung 87,0 und bei gebeugter Ellbogenhaltung 90,7 Grad.

Tab. 68 Deskriptive Statistik der beiden Winkel Ulna (U) und Radius (R)

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard- abweichung
U links Extension	10	103.2	131.6	116.2	8.9
U links neutral	10	108.5	126.4	116.1	5.4
U links Flexion	10	104.3	127.1	114.9	8.4
R links Extension	10	70.4	100.4	87.0	8.8
R links neutral	10	81.9	95.9	87.9	4.9
R links Flexion	10	78.2	104.7	90.7	8.5

Die Unterschiede sind allerdings nicht signifikant (T-Test, Tab. 69). Die Winkelpaarungen korrelieren aber deutlich geringer als bei den Anconaeus- und Olecranonwinkeln. So ist die Korrelation mit 0,614 bei der Ulnapaarung neutraler zu gestreckter Haltung am schlechtesten und mit 0,885 korreliert die Ulnapaarung gestreckter zu gebeugter Haltung am besten.

Tab. 69 T-Test bei gepaarten Stichproben: Winkel Ulna (U) und Radius (R)

		Mittelwert der gepaarten Diff.	95% Konfidenzintervall der Diff.		T	p	Korr. Koeff.
			Untere	Obere			
Paar 1	U links neutral - U links Extension	-0.137	-5.143	4.870	-0.062	0.952	0.614
Paar 2	U links neutral - U links Flexion	1.228	-3.133	5.590	0.637	0.540	0.694
Paar 3	U links Extension - U links Flexion	1.365	-1.618	4.348	1.035	0.328	0.885
Paar 4	R links neutral - R links Extension	0.945	-3.751	5.640	0.455	0.660	0.673
Paar 5	R links neutral - R links Flexion	-2.802	-6.538	0.934	-1.697	0.124	0.826
Paar 6	R links Extension - R links Flexion	-3.747	-7.733	0.240	-2.126	0.062	0.791

In der deskriptiven Statistik der EQ-Indizes (Tab. 70) sind die Mittelwerte in allen drei Haltungen sehr ähnlich. Einzig in den Minimalwerten ist ein Unterschied sichtbar: Der kleinste EQ-Index wurde bei der gebeugten Stellung mit 0,86 und der grösste Minimalwert mit 0,90 bei der neutralen Stellung gemessen.

Tab. 70 Deskriptive Statistik der EQ-Indizes bei Extension, Flexion und neutraler Stellung

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
EQ links Extension	10	.89	1.04	.956	5.0E-02
EQ links neutral	10	.90	1.04	.955	4.2E-02
EQ links Flexion	10	.86	1.04	.965	5.1E-02

Die EQ-Mittelwerte der gepaarten Differenzen unterscheiden sich nicht signifikant (Tab. 71).

Tab. 71 T-Test bei gepaarten Stichproben: EQ-Index e (Extension, Flexion und neutrale Stellung)

		Mittelwert der gepaarten Diff.	95% Konfidenzintervall der Diff.		T	p	Korr. Koeff.
			Untere	Obere			
Paar 1	EQ links neutral - EQ links Extension	-0.001	-0.009	0.007	-0.359	0.728	0.981
Paar 2	EQ links neutral - EQ links Flexion	-0.011	-0.025	0.004	-1.646	0.134	0.925
Paar 3	EQ links Extension - EQ links Flexion	-0.009	-0.023	0.004	-1.552	0.155	0.932

Pronation und Supination

Mittels deskriptiver Statistik (Tab. 72) werden die Mittelwerte der Anconaeus- und Olecranonwinkel bei drei Gelenkpositionen verglichen. Bei den Anconaeuswinkeln werden nur kleine Unterschiede beobachtet, während die Mittelwerte der Olecranonwinkel zwischen neutraler zu pronierter Stellung um bis zu 5° differieren.

Tab. 72 Deskriptive Statistik der beiden Winkel Anconaeus (A) und Olecranon (O)

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
A rechts Pronation	10	17.0	33.5	24.1	5.9
A rechts neutral	10	19.7	35.8	25.1	5.3
A rechts Supination	10	14.8	32.3	24.4	5.5
O rechts Pronation	10	8.2	28.5	20.8	7.4
O rechts neutral	10	2.4	24.9	15.2	6.2
O rechts Supination	10	7.2	25.5	17.0	5.4

Betrachtet man nun die Ergebnisse des T-Testes bei gepaarten Winkeln (Tab. 73), so sind bei den Anconaeuspaarungen keine signifikanten Unterschiede festzustellen. Alle Mittelwerte der gepaarten Differenzen beim Olecranonwinkel sind aber signifikant. Die beste Korrelation zeigt die Anconaeuspaarung neutraler zu pronierter Haltung mit 0,919 und die schlechteste Korrelation hat die Olecranonpaarung pronierter zur supinierten Haltung mit 0,849.

Tab. 73 T-Test bei gepaarten Stichproben: Winkel Anconaeus (A) und Olecranon (O)

		Mittelwert der gepaarten Diff.	95% Konfidenzintervall der Diff.		T	p	Korr. Koeff.
			Untere	Obere			
Paar 1	A rechts neutral - A rechts Pronation	1.047	-0.630	2.723	1.412	0.192	0.919
Paar 2	A rechts neutral - A rechts Supination	0.728	-1.280	2.736	0.820	0.433	0.866
Paar 3	A rechts Pronation - A rechts Supination	-0.318	-2.242	1.605	-0.374	0.717	0.892
Paar 4	O rechts neutral - O rechts Pronation	-5.632	-8.169	-3.095	-5.022	0.001	0.880
Paar 5	O rechts neutral - O rechts Supination	-1.788	-3.221	-0.355	-2.822	0.020	0.952
Paar 6	O rechts Pronation - O rechts Supination	3.844	0.957	6.730	3.013	0.015	0.849

Die Mittelwerte der Winkel weichen in allen Stellungen voneinander ab (Tab. 74). So bestehen beim Ulnawinkel (neutrale – supinierte Stellung) Differenzen von bis zu 5,5° und beim Radiuswinkel (supinierte – pronierte Stellung) bis zu 14,8°. Grössere Abweichungen werden auch in den minimalen und maximalen Winkelgraden gemessen. Einzig der Ulnawinkel in pronierter und neutraler Haltung ist ungefähr gleich.

Tab. 74 Deskriptive Statistik der beiden Winkel Ulna (U) und Radius (R)

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard- abweichung
U rechts Pronation	10	112.0	129.7	119.6	6.2
U rechts neutral	10	111.1	133.4	120.4	7.4
U rechts Supination	10	103.6	127.0	114.9	8.1
R rechts Pronation	10	64.4	90.2	79.7	8.6
R rechts neutral	10	77.8	103.5	90.0	9.1
R rechts Supination	10	83.9	109.9	94.5	9.0

Beim T-Test für gepaarte Winkel (Tab. 75), fallen folgende Winkel-Paarungen auf: Der Ulnawinkel (neutrale - supinierte Stellung) und der Radiuswinkel (neutrale - pronierte Haltung / pronierte - supinierte Stellung) unterscheiden sich in den Mittelwerten der gepaarten Differenzen höchst signifikant. Nur knapp signifikant ist die Winkelpaarung der Ulna bei pronierter zu supinierter Stellung. Keine signifikante Differenz zeigen die übrigen Winkelpaarungen. Die Korrelations-Koeffizienten erstrecken sich von minimal 0,242 (Radiuswinkel proniert-supiniert) bis maximal 0,753 (Ulnawinkel neutral-supiniert).

Tab. 75 T-Test bei gepaarten Stichproben: Winkel Ulna (U) und Radius (R)

		Mittelwert der gepaarten Diff.	95% Konfidenz- intervall der Differenz		T	p	Korr. Koeff.
			Untere	Obere			
Paar 1	U rechts neutral - U rechts Pronation	0.799	-4.203	5.801	0.361	0.726	0.489
Paar 2	U rechts neutral - U rechts Supination	5.506	1.586	9.425	3.178	0.011	0.753
Paar 3	U rechts Pronation - U rechts Supination	4.706	-0.119	9.531	2.207	0.055	0.580
Paar 4	R rechts neutral - R rechts Pronation	10.281	4.730	15.831	4.190	0.002	0.617
Paar 5	R rechts neutral - R rechts Supination	-4.497	-10.381	1.386	-1.729	0.118	0.587
Paar 6	R rechts Pronation - R rechts Supination	-14.778	-22.532	-7.024	-4.311	0.002	0.242

In der deskriptiven Statistik (Tab. 76) bestehen in den EQ-Mittelwerten der drei Stellungen markante Unterschiede. Den kleinsten EQ-Mittelwert weist die pronierte Ellbogenstellung auf (0,948), während bei der neutralen Gelenksstellung ein Mittelwert von 0,975 gemessen wurde.

Tab. 76 Deskriptive Statistik der EQ-Indizes bei Pronation, Supination und neutraler Stellung

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard- abweichung
EQ rechts Pronation	10	.88	1.04	.948	5.0E-02
EQ rechts neutral	10	.89	1.08	.975	5.4E-02
EQ rechts Supination	10	.88	1.03	.956	5.1E-02

Beim T-Test in der Tab. 77 differieren die Mittelwerte der gepaarten Differenzen bei den EQ-Paarungen neutraler zu pronierter Haltung ($p=0,01$) und neutraler zu supinierter Haltung ($p=0,01$) hoch signifikant.

Tab. 77 T-Test bei gepaarten Stichproben: EQ-Indizes (Pronation, Supination und neutrale Stellung)

		Mittelwert der gepaarten Diff.	95% Konfidenz- intervall der Differenz		T	p	Korr. Koeff.
			Untere	Obere			
Paar 1	EQ rechts neutral - EQ rechts Pronation	0.027	0.008	0.046	3.180	0.011	0.872
Paar 2	EQ rechts neutral - EQ rechts Supination	0.019	0.005	0.033	3.125	0.012	0.933
Paar 3	EQ rechts Pronation - EQ rechts Supination	-0.007	-0.029	0.014	-0.784	0.453	0.820

5.4.4 Messpunkte

Mittelpunkt Humeruskondylus (Messpunkt 1)

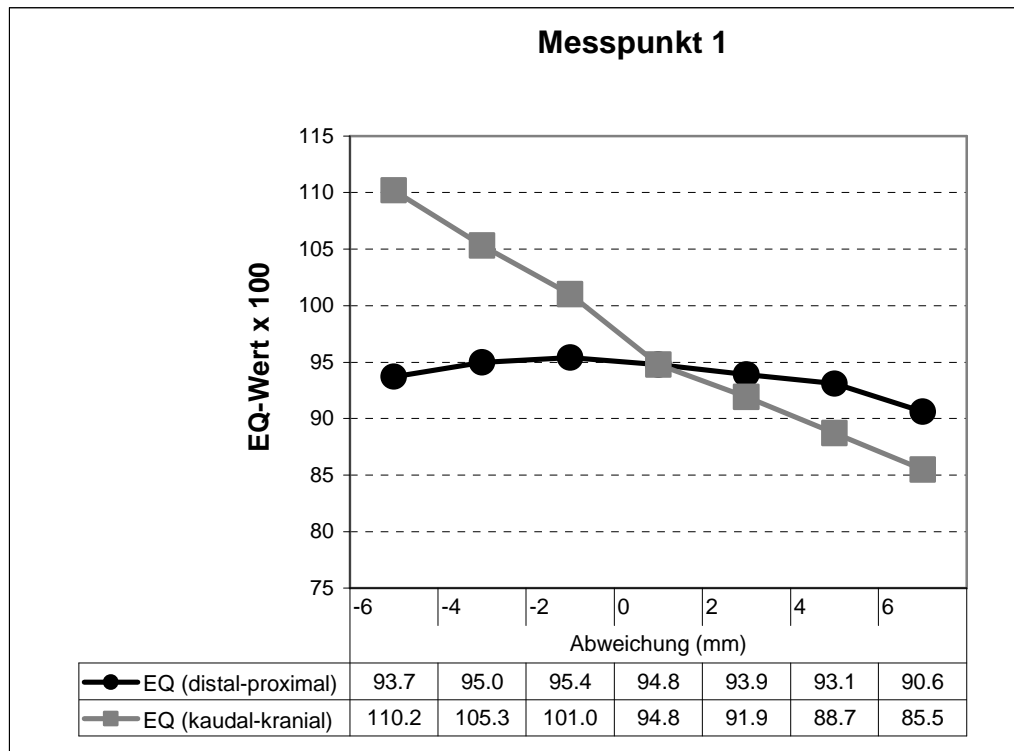


Abb. 61 EQ-Indizes in Abhängigkeit der Verschiebungsrichtung und der Distanz vom Nullpunkt

In den Abbildungen (Abb. 61-66) sind die EQ-Indizes in Abhängigkeit von der Lokalisation der Messpunkte dargestellt. Zur einfacheren Darstellung sind sie mit dem Faktor 100 multipliziert. Der Referenz-EQ beträgt immer 94,8. Verschiebungen des Mittelpunktes des Humeruskondylus in kranialer oder kaudaler Richtung verändert den EQ deutlich. Bei einer Verschiebung um 2 mm nach kaudal nimmt er um 5,3 Einheiten zu (Abb. 61). Ein extremer Wert von 15,4 EQ-Einheiten wird bei einer Verschiebung um 6 mm nach kaudal erreicht. Verschiebung des Mittelpunktes von distal nach proximal führen nur zu geringen Änderungen von maximal 4,2 EQ-Einheiten.

Processus anconaeus Spitze (Messpunkt 2)

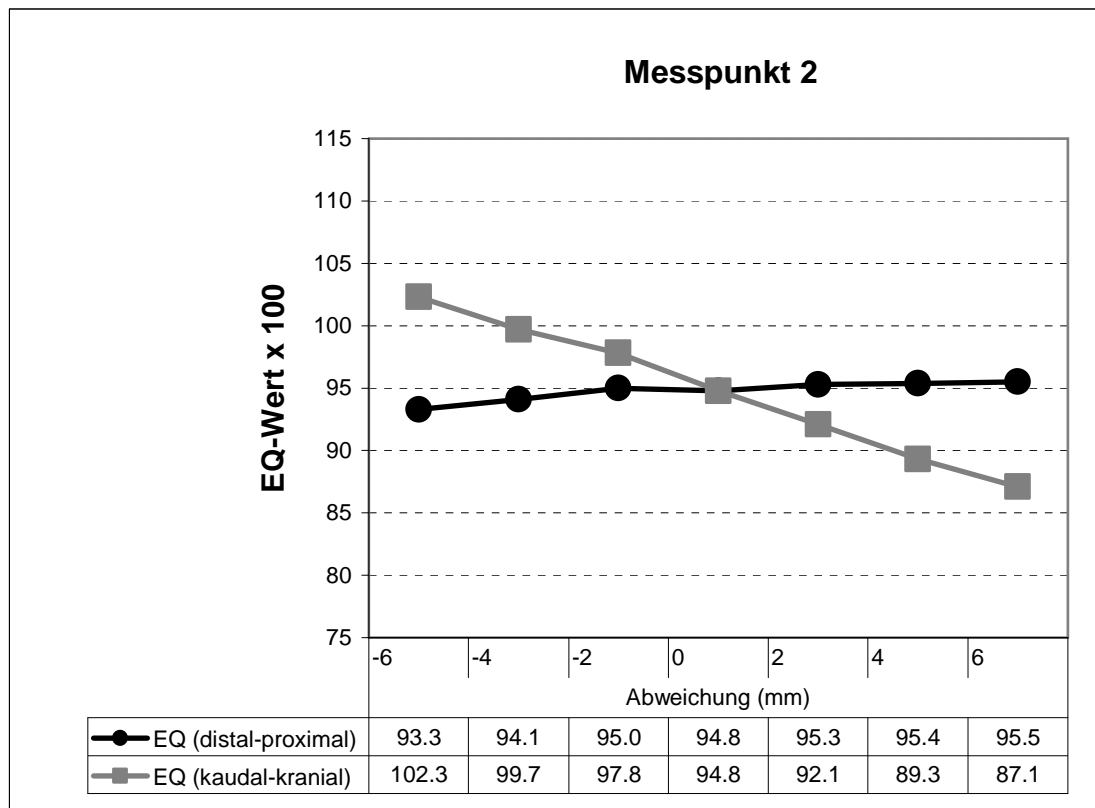


Abb. 62 EQ-Indizes in Abhängigkeit der Verschiebungsrichtung und der Distanz vom Nullpunkt

Der Messpunkt der Processus Anconaeus Spitze beeinflusst den EQ-Wert linear vor allem bei Verschiebung nach kranial oder kaudal (Abb. 62). Eine Abweichung von 2 mm nach kaudal führt bereits zu einer Änderung um 3 Einheiten. Eine Verschiebung in distaler bzw. proximaler Richtung führt nur zu geringen Unterschieden von maximal 1,5 EQ-Einheiten.

Olecranongrube (Messpunkt 3)

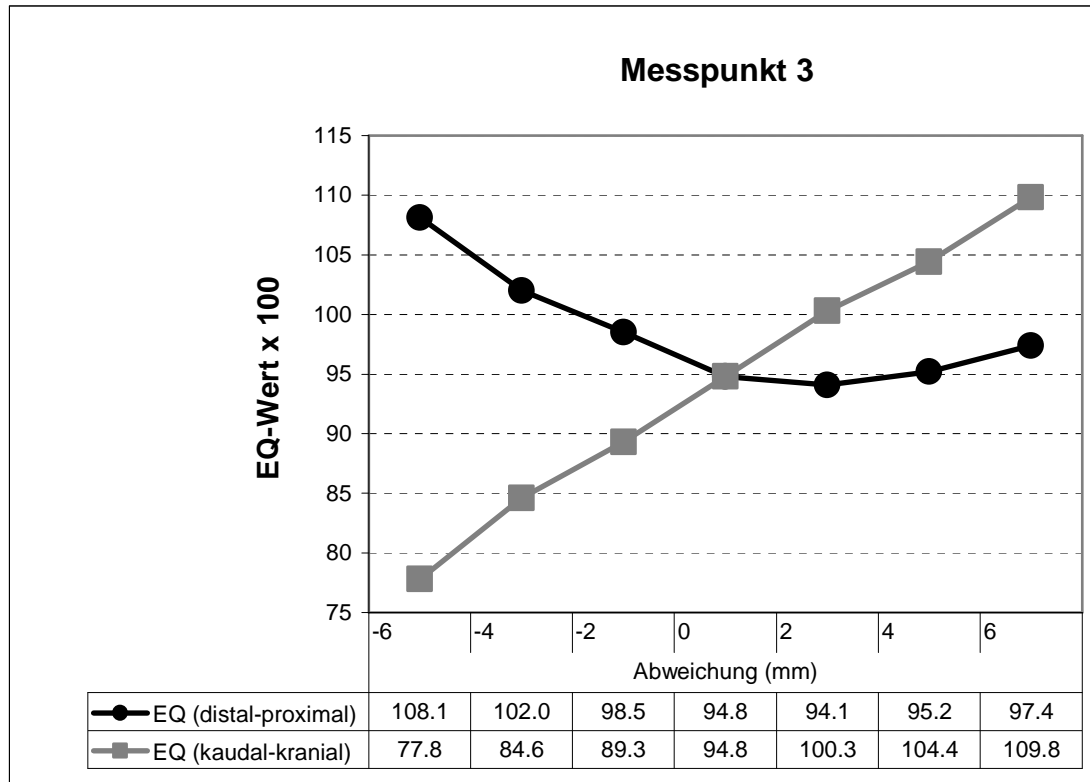


Abb. 63 EQ-Indizes in Abhängigkeit der Verschiebungsrichtung und der Distanz vom Nullpunkt

Verschiebungen des Referenzpunktes für die Olecranongrube führen zu markanten EQ-Änderungen (Abb. 63). Nur geringe Abweichungen um 2 mm nach kranial bzw. kaudal führen bereits zu EQ-Abweichungen von 5,5 Einheiten. Verschiebungen von 6 mm haben extreme EQ-Änderungen von bis zu 15 Einheiten zur Folge.

Gelenkspalt zwischen Radius und Ulna (Messpunkt 4)

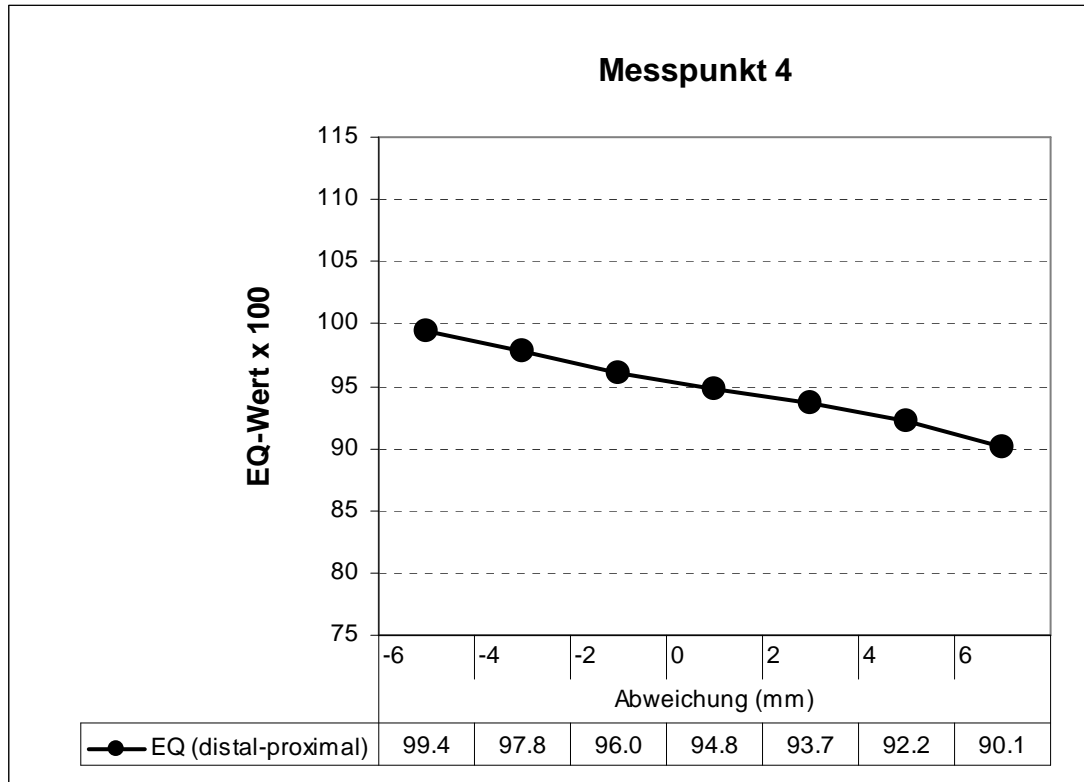


Abb. 64 EQ-Indizes in Abhängigkeit der Verschiebungsrichtung und der Distanz vom Nullpunkt

Verschiebungen des Messpunktes 4 (Abb. 64) nach distal und proximal führen zu einer geringen linearen Abweichung der EQ-Indizes. Maximal werden EQ-Änderungen von 4.6 Einheiten beobachtet.

Kranialer Punkt Radiuskopf (Messpunkt 5)

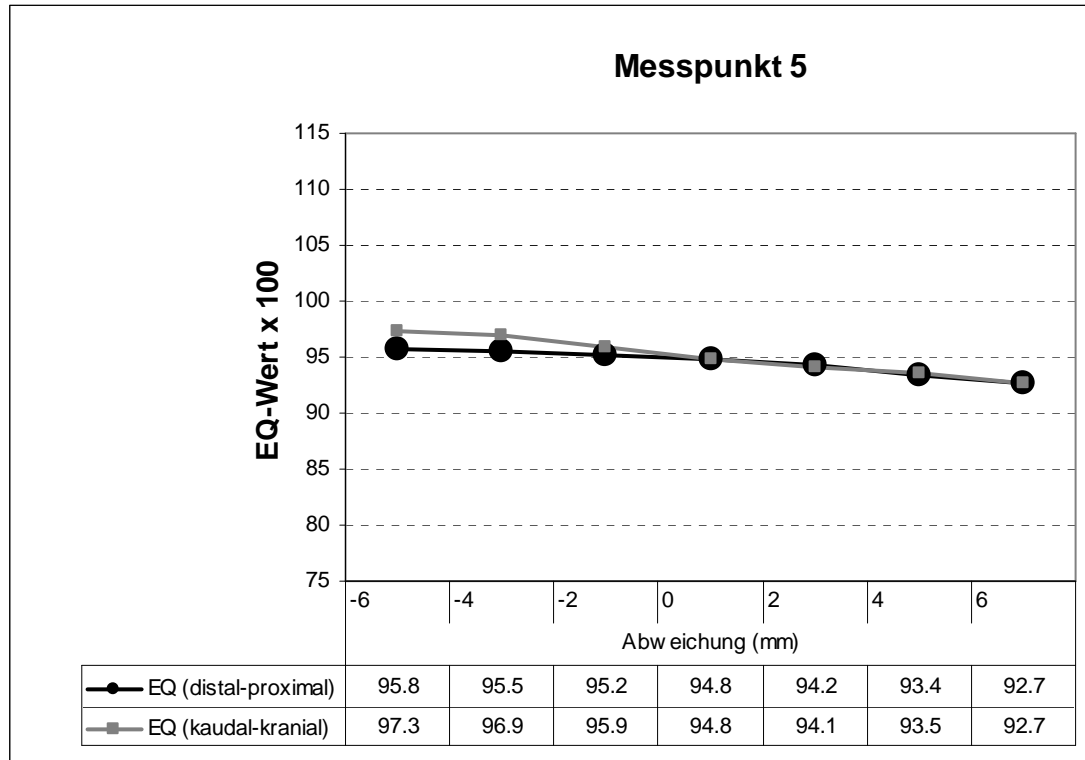


Abb. 65 EQ-Indizes in Abhängigkeit der Verschiebungsrichtung und der Distanz vom Nullpunkt

Die Abweichungen beim Messpunkt 5 fallen deutlich kleiner aus als bei den anderen Messpunkten (Abb. 65). Sie betragen bei Verschiebungen um 2 mm maximal 1,2 EQ-Indizes. Selbst bei einer Verschiebung um 6 mm erreichen sie höchstens 2,5 EQ-Indizes.

Achsenpunkt des Radius (Messpunkt 6)

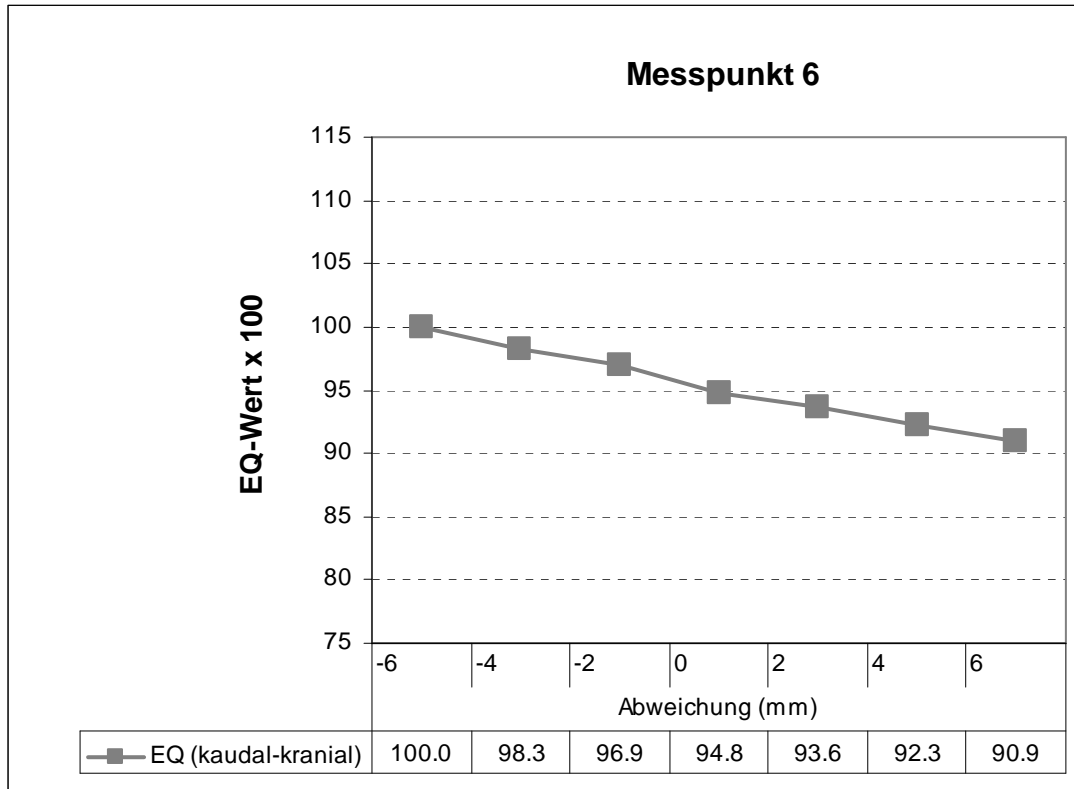


Abb. 66 EQ-Indizes in Abhängigkeit der Verschiebungsrichtung und der Distanz vom Nullpunkt

Verschiebungen der Radiusachse (Abb. 66) nach kaudal und kranial ergeben eine lineare Veränderung der EQ-Indizes. Eine Abweichung um 2 mm nach kaudal ergibt 2,1 und nach kranial 1,2 Einheiten EQ-Differenz. Der maximale Unterschied von 5,2 EQ-Einheiten wird bei einer Abweichung nach kaudal um 6 mm erreicht.

5.4.5 Wiederholbarkeiten

5.4.5.1 Wiederholbarkeits-Messungen

In der Tabelle zu den Wiederholbarkeiten der Winkelmessungen sind zusätzlich auch die Varianzen zwischen und innerhalb der Gruppen (fünf unterschiedliche Ellbogenröntgen fünf mal hintereinander ausgemessen) dargestellt (Tab. 78). Der Bereich der Wiederholbarkeiten erstreckt sich von 0,65 bis 0,8.

Tab. 78 Varianzen und Wiederholbarkeiten der Gelenkwinkel und des EQ-Indizes

	V (zwischen)	V (innerhalb)	Wiederholbarkeit
Anconaeus	8,595	3,475	0,71
Olecranon	7,058	1,758	0,80
Ulna	16,949	4,255	0,79
Radius	8,05	3,678	0,69
EQ	0,00043	0,00021	0,65

5.4.5.2 Seitenorientierung „Rechts-Links Projektion“

Untersucht wurde der Einfluss der Seitenorientierung auf die Messwerte (Tab. 77). Bei den Anconaeus- und Radiuswinkeln sind signifikante Unterschiede in den Mittelwerten festzustellen, bei den Olecranon- und Ulnawinkeln, sowie bei den EQ-Indizes bestehen nur geringgradige Differenzen.

Tab. 79 Deskriptive Statistik der Winkel und des EQ im „Rechts-Links“ Vergleich

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard- abweichung
Winkel Anconeus links	44	21.0	33.9	26.6	3.0
Winkel Anconeus rechts	44	23.0	33.1	27.8	2.5
Winkel Olecranon links	44	9.6	33.3	22.6	5.1
Winkel Olecranon rechts	44	9.5	33.0	22.8	4.9
Winkel Ulna links	44	99.3	127.2	116.0	5.5
Winkel Ulna rechts	44	104.2	127.9	116.0	5.0
Winkel Radius links	44	73.4	103.6	83.6	5.4
Winkel Radius rechts	44	71.3	101.5	82.0	5.4
EQ links	44	.83	1.03	.921	4.1E-02
EQ rechts	44	.84	1.01	.918	3.7E-02

Die gepaarten Differenzen der Anconaeus- und Radius-Winkel links-rechts und der EQ-Indizes zeigen signifikante Unterschiede (Tab. 80). Die restlichen Winkelpaarungen und die EQ-Paare unterscheiden sich nicht signifikant in ihrer gepaarten Differenz. Die höchste Korrelation mit 0,940 zeigt das Olecranonpaar. Die tiefste Korrelation hat die Paarung der Anconaeuswinkel mit 0,732.

Tab. 80 T-Test bei gepaarten Stichproben: Gelenkwinkel und EQ rechts- und linksseitig

		Mittelwert der gepaarten Diff.	95% Konfidenz- intervall der Differenz		T	p	Korr. Koeff.
			Untere	Obere			
Paar 1	Anconaeus links - Anconaeus rechts	-1.191	-1.812	-0.570	-3.865	0.000	0.732
Paar 2	Olecranon links - Olecranon rechts	-0.116	-0.646	0.414	-0.443	0.660	0.940
Paar 3	Ulna links - Ulna rechts	-0.009	-0.910	0.892	-0.020	0.984	0.843
Paar 4	Radius links - Radius rechts	1.587	0.618	2.556	3.302	0.002	0.827
Paar 5	EQ links - EQ rechts	0.003	-0.002	0.007	1.286	0.205	0.935

Streudiagramme der einzelnen Winkel und des EQ

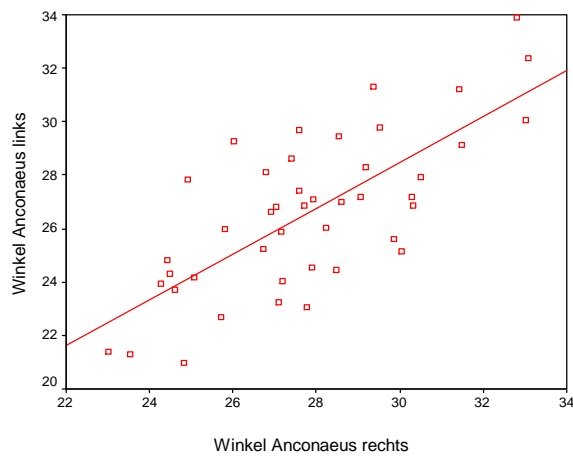


Abb. 67 Anconaeus Winkel: Korr.Koeff.= 0.732

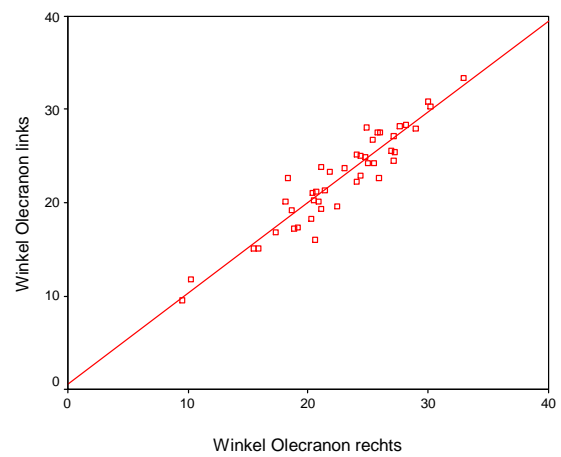


Abb. 68 Olecranon Winkel: Korr.Koeff.= 0.940

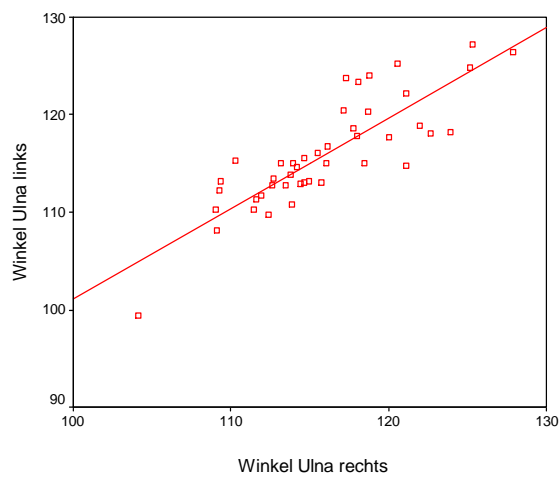


Abb. 69 Ulna Winkel: Korr.Koeff.= 0.843

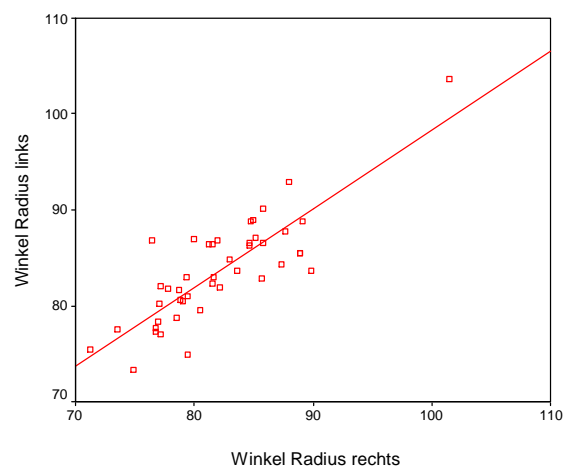


Abb. 70 Radius Winkel: Korr.Koeff.= 0.827

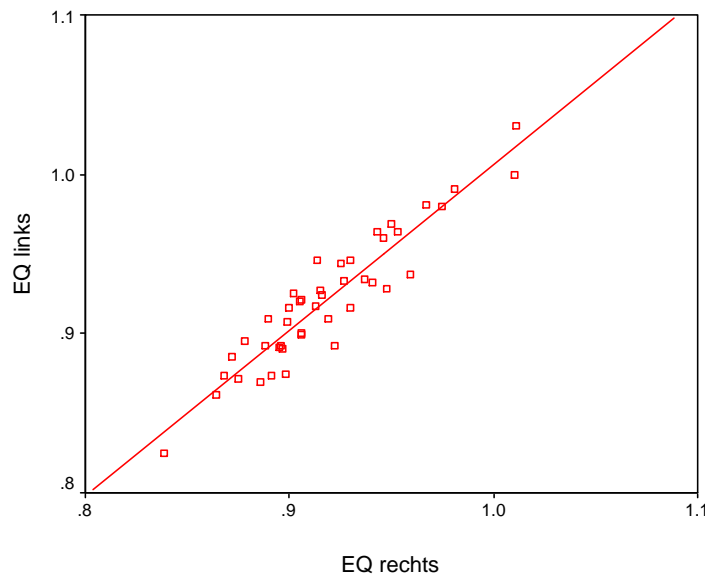


Abb. 71 EQ-Index: Korrelations-Koeff.= 0.935

In den Abbildungen 67-71 werden die Streuungen der Winkel- und EQ-Paarungen visuell verdeutlicht. Die Streuungen und die Regressionsgeraden bei den Paarungen Olecranon, Ulna und EQ zeigen eine gute Übereinstimmung. Grössere Differenzen werden aber beim Anconaeus und Radius ersichtlich.

5.4.5.3 Korrelation der Messungen zwischen 2 Gutachtern

Verglichen wurden die Messungen zwischen 2 Gutachtern (Tab. 81). Beim Anconaeuswinkel ist der Mittelwert des Gutachters 1 links um $1,3^\circ$ und rechts um 2° grösser als derjenige des zweiten Gutachters. Ähnliche Verhältnisse zeigen sich beim Olecranonwinkel, wo wiederum Gutachter 1 ungefähr 2° höhere Mittelwerte misst. Die Unterschiede der Mittelwerte beim Ulnawinkel fallen deutlich geringer aus. Die Differenzen der Mittelwerte des Radiuswinkels hingegen sind markant: Gutachter 2 hat auf der linken Seite $4,7^\circ$ und auf der rechten Seite $4,4^\circ$ mehr gemessen als Gutachter 1. Bei den rechten und linken EQ-Indizes sind keine grossen Unterschiede feststellbar. Im Gesamt-EQ liegt die Differenz bei 0,012.

Tab. 81 Winkel und EQ-Indizes von Gutachter 1 (1) und Gutachter 2 (2)

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Anconaeus links 1	52	21.9	39.6	28.0	3.63
Anconaeus links 2	52	15.7	34.6	26.7	3.80
Anconaeus rechts 1	52	20.3	39.8	28.3	3.77
Anconaeus rechts 2	52	16.2	35.7	26.3	3.98
Olecranon links 1	52	8.6	34.4	22.5	5.36
Olecranon links 2	52	6.9	32.1	20.8	6.18
Olecranon rechts 1	52	8.1	35.8	22.0	6.00
Olecranon rechts 2	52	5.8	35.0	20.1	6.13
Ulna links 1	52	105.6	129.1	116.5	5.06
Ulna links 2	52	102.1	133.2	116.0	6.99
Ulna rechts 1	52	108.4	129.0	117.3	5.44
Ulna rechts 2	52	98.2	128.6	116.9	6.23
Radius links 1	52	67.6	97.9	83.2	7.04
Radius links 2	52	74.9	103.8	87.8	6.14
Radius rechts 1	52	61.8	104.8	82.5	8.62
Radius rechts 2	52	72.6	99.7	87.0	6.27
EQ links 1	52	0.811	1.007	0.919	0.042
EQ links 2	52	0.844	1.071	0.929	0.049
EQ rechts 1	52	0.823	1.031	0.922	0.045
EQ rechts 2	52	0.838	1.073	0.937	0.048
EQ 1	52	0.840	1.019	0.921	0.041
EQ 2	52	0.842	1.050	0.933	0.045

Der T-Test der Winkel und EQ-Indizes (Tab. 82) zeigt, dass alle Mittelwerte der gepaarten Differenzen hoch signifikant differieren, mit Ausnahme der rechten und linken Ulnawinkelpaare. Die Korrelationen der Messwinkel- und EQ-Paarungen zueinander sind für die Winkel des Anconaeus beidseits und des Radius rechts gering. Die tiefste Korrelation zeigt der Anconaeuswinkel rechts mit nur 0,119. Das beste Winkelpaar mit einer Korrelation von 0,899 zeigt der Olecranonwinkel auf der rechten Seite. Auffällig ist auch eine höhere Korrelation der linken EQ-Paarung (0,887) gegenüber der rechten mit 0,802. Trotz signifikanten Unterschieden in fast allen Paarungen, korreliert der Gesamt-EQ von Gutachter 1 und 2 mit 0,908 ziemlich gut.

Tab. 82 T-Test bei gepaarten Stichproben: Winkel und EQ-Indizes von Gutachter 1 und Gutachter 2

		Mittelwert der gepaarten Differenz	95% Konfidenz- intervall der Differenz		T	p	Korr. Koeff.
			Untere	Obere			
Paar 1	Anconaeus links 1 - Anconaeus links 2	1.338	0.251	2.424	2.471	0.017	0.450
Paar 2	Anconaeus rechts 1 - Anconaeus rechts 2	1.956	0.521	3.391	2.717	0.009	0.119
Paar 3	Olecranon links 1 - Olecranon links 2	1.651	0.894	2.408	4.379	0.000	0.899
Paar 4	Olecranon rechts 1 - Olecranon rechts 2	1.903	1.101	2.705	4.763	0.000	0.887
Paar 5	Ulna links 1 - Ulna links 2	0.469	-0.772	1.710	0.759	0.451	0.772
Paar 6	Ulna rechts 1 - Ulna rechts 2	0.405	-0.835	1.645	0.655	0.515	0.717
Paar 7	Radius links 1 - Radius links 2	-4.674	-6.022	-3.327	-6.965	0.000	0.739
Paar 8	Radius rechts 1 - Radius rechts 2	-4.476	-6.456	-2.496	-4.539	0.000	0.583
Paar 9	EQ links 1 - EQ links 2	-0.011	-0.017	-0.004	-3.326	0.002	0.887
Paar 10	EQ rechts 1 - EQ rechts 2	-0.015	-0.023	-0.006	-3.586	0.001	0.802
Paar 11	EQ 1 - EQ 2	-0.013	-0.018	-0.007	-4.770	0.000	0.908

Streudiagramme des EQ von Gutachter 1 und Gutachter 2

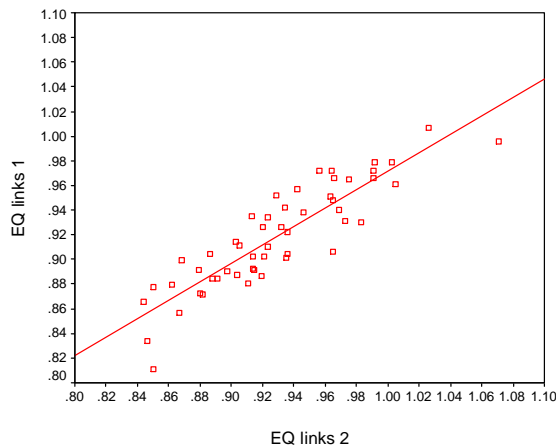


Abb. 72 EQ-links: Korr.Koeff.= 0.887

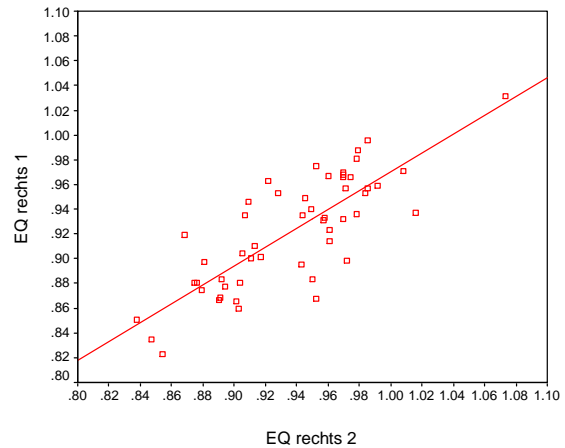


Abb. 73 EQ-rechts: Korr.Koeff.= 0.802

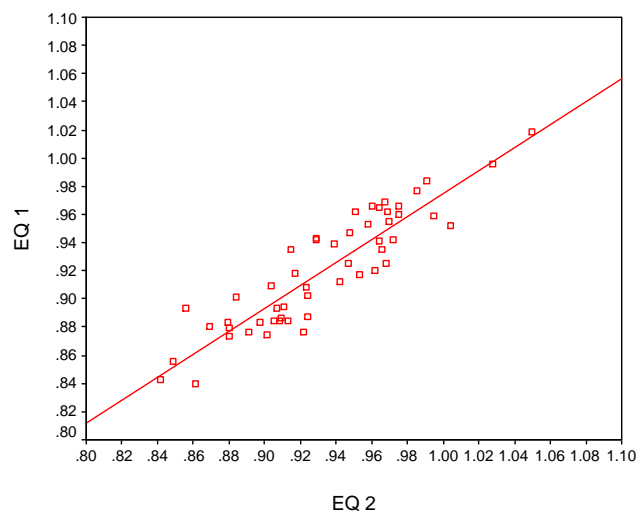


Abb. 74 EQ: Korrelations-Koeff.= 0.908

In den Streudiagrammen (Abb. 72-74) sind die Verhältnisse des rechten, linken und Gesamt-EQ beider Gutachter dargestellt. Die rechten EQ-Indizes zeigen eine grössere Streuung der einzelnen Messpunkte als die linken Ellbogen EQ-Indizes. Der Gesamt-EQ zeigt mit 0,908 eine hohe Korrelation.

5.4.5.4 Korrelation der Messungen eines Gutachters

Zwischen den Mittelwerten der Gelenkwinkel und EQ-Indizes von einem Gutachter (Messung 1 und 2) über die Zeit bestehen keine grösseren Differenzen (Tabelle 83). Die Differenz in den Winkelpaarungen beträgt durchschnittlich etwa $0,5^\circ$. Bei den EQ-Indizes sind die Differenzen minim.

Tab. 83 Winkel und EQ-Indizes von einem Gutachter (Messung 1 und 2)

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard- abweichung
Anconaeus links 1	52	20.3	39.8	27.8	3.64
Anconaeus links 2	52	19.2	43.2	27.1	3.81
Anconaeus rechts 1	52	21.2	40.1	28.0	3.36
Anconaeus rechts 2	52	21.6	38.1	27.5	2.93
Olecranon links 1	52	13.7	30.2	22.4	4.67
Olecranon links 2	52	12.4	30.2	21.8	4.97
Olecranon rechts 1	52	13.7	34.4	22.7	5.22
Olecranon rechts 2	52	11.7	33.2	22.1	4.85
Ulna links 1	52	107.9	128.5	116.9	4.29
Ulna links 2	52	105.9	131.0	117.6	5.46
Ulna rechts 1	52	104.3	128.5	116.9	5.37
Ulna rechts 2	52	106.4	126.3	117.2	4.80
Radius links 1	52	73.2	100.7	83.7	5.77
Radius links 2	52	71.4	101.3	84.1	6.30
Radius rechts 1	52	68.9	100.0	82.0	6.40
Radius rechts 2	52	68.8	98.8	82.4	5.71
EQ links 1	52	0.855	0.980	0.920	0.035
EQ links 2	52	0.845	0.995	0.927	0.039
EQ rechts 1	52	0.812	0.994	0.919	0.043
EQ rechts 2	52	0.826	0.993	0.924	0.037
EQ 1	52	0.834	0.987	0.920	0.037
EQ 2	52	0.850	0.982	0.926	0.036

Betrachtet man die Winkel- und EQ-Paarungen im T-Test (Tab. 84) so lassen sich folgende Aussagen machen: Die Mittelwerte der gepaarten Differenzen sind bei allen Winkelpaarungen nicht signifikant verschieden. Die EQ-

Paarungen hingegen differieren in ihren Mittelwerten der gepaarten Differenzen höchst signifikant. Die Olecranon-Winkelpaarung korreliert mit 0,87 links und mit 0,92 rechts am besten und die Paarung der Anconaeuswinkel mit 0,65 links und mit 0,76 rechts am geringsten. Die EQ- Paarung links mit 0,82 zeigt eine schlechtere Korrelation als die rechte EQ-Paarung rechts, welche 0,90 aufweist. Beim Gesamt-EQ ist mit 0,93 eine hohe Korrelation auszumachen.

Tab. 84 T-Test bei gepaarten Stichproben: Winkel und EQ-Indizes eines Gutachters (Messung 1 und 2)

		Mittelwert der gepaarten Differenzen	95% Konfidenzintervall der Differenz		T	p	Korr. Koeff.
			Untere	Obere			
Paar 1	Anconaeus links 1 - Anconaeus links 2	0.787	-0.080	1.655	1.822	0.074	0.651
Paar 2	Anconaeus rechts 1 - Anconaeus rechts 2	0.514	-0.105	1.134	1.668	0.101	0.758
Paar 3	Olecranon links 1 - Olecranon links 2	0.608	-0.076	1.292	1.785	0.080	0.872
Paar 4	Olecranon rechts 1 - Olecranon rechts 2	0.575	0.001	1.149	2.012	0.050	0.919
Paar 5	Ulna links 1 - Ulna links 2	-0.676	-1.697	0.345	-1.329	0.190	0.742
Paar 6	Ulna rechts 1 - Ulna rechts 2	-0.351	-1.171	0.469	-0.858	0.395	0.838
Paar 7	Radius links 1 - Radius links 2	-0.370	-1.265	0.525	-0.830	0.410	0.862
Paar 8	Radius rechts 1 - Radius rechts 2	-0.347	-1.366	0.673	-0.683	0.498	0.823
Paar 9	EQ links 1 - EQ links 2	-0.007	-0.013	-0.001	-2.200	0.032	0.819
Paar 10	EQ rechts 1 - EQ rechts 2	-0.005	-0.011	0.000	-2.098	0.041	0.899
Paar 11	EQ 1 - EQ 2	-0.006	-0.010	-0.002	-3.199	0.002	0.928

Streudiagramme des EQ von einem Gutachter

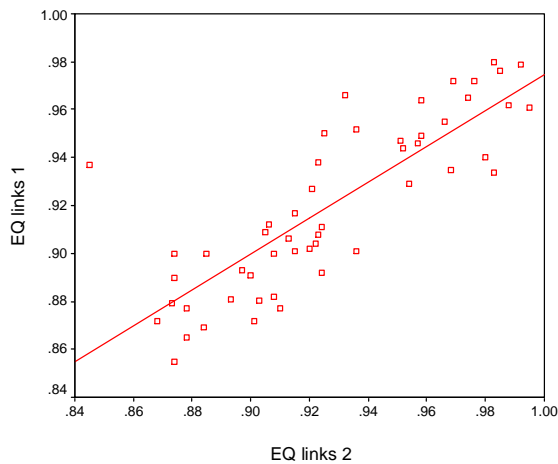


Abb. 75 EQ-links: Korr.Koeff.= 0.819

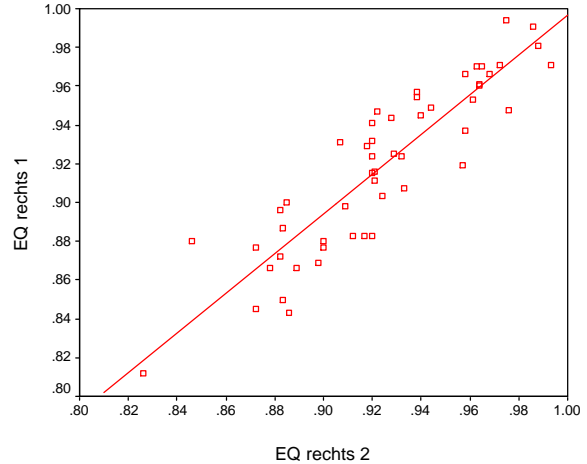


Abb. 76 EQ-rechts: Korr.Koeff.= 0.899

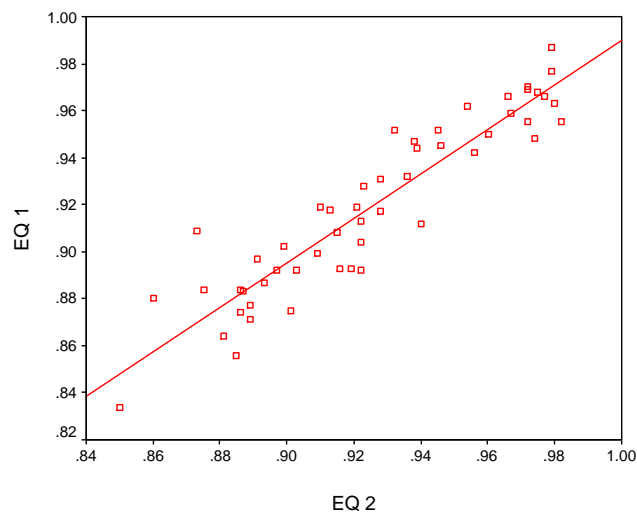


Abb. 77 EQ: Korrelations-Koeff.= 0.928

In den Streudiagrammen (Abb. 75-77) sind die Verhältnisse des rechten, linken und Gesamt-EQ des einen Gutachters dargestellt. Die linken EQ-Indizes zeigen eine grössere Streuung der einzelnen Messpunkte als die rechten. Der Gesamt-EQ zeigt mit 0,93 eine gute Korrelation (Wiederholbarkeit).

6 Diskussion

Ellbogendysplasie ist bei vielen Hunderassen ein weit verbreitetes gesundheitliches Problem. Betroffen sind in einzelnen Rassen 50% und mehr der untersuchten Tiere. Ausgeprägte ED führt zu schwerer Arthrose und zu chronischen Schmerzen, die auch mit einem chirurgischen Eingriff nicht immer erfolgreich behandelt werden können. Immer mehr Klubs von gefährdeten oder betroffenen Rassen bekämpfen die Krankheit deshalb durch Zuchtauslese auf der Basis von Röntgenbefunden. Die Erfolge dieser Massnahme sind sehr unterschiedlich. Während beim Berner Sennenhund die ED-Frequenz in den letzten 10 Jahren deutlich zurückgegangen ist, konnte beim Rottweiler nur eine geringe Verbesserung erreicht werden, beim Labrador Retriever verbesserte sich die Lage überhaupt nicht. Als Grund dafür wird vermutet, dass das Ausmass der Arthrosebildung kaum genetisch beeinflusst wird. Deshalb ist durch eine Zuchtselektion, wie sie von der IEWG auf Grund des Schweregrades der Arthrose propagiert wurde, keine nachhaltige Reduktion der ED-Inzidenz zu erwarten.

Beuing hat einen anderen Weg beschritten und versucht, mittels trigonometrischer Vermessung des Ellbogens auf dem Röntgenbild ED disponierte Hunde objektiver zu erfassen und vor allem das Vererbungsrisiko für ED zuverlässiger zu bestimmen als durch die Graduierung des Ausmasses der Ellbogenarthrose. Das Ziel dieser Arbeit war es denn, die von Beuing² entwickelte EDV-unterstützte Messmethode zur Bestimmung der Ellbogenqualität (EQ) beim Hund auf die praktische Anwendbarkeit hin zu überprüfen. Dazu verwendet wurden Messungen und Befunde der Rassen Deutscher Schäferhund, Golden Retriever und Labrador Retriever. Überprüft wurden der Einfluss der Bildqualität, des ED-Status, der Ellbogenprojektion und der Seitenorientierung auf die Messungen. Ebenfalls geprüft wurde die Wiederholbarkeit der Messung des einzelnen Gutachters und zwischen 2

Gutachtern. Weiter wurden für den Golden- und Labrador Retriever Heritabilitäten und genetische Korrelationen der Gelenkwinkel und des EQ-Indizes hinsichtlich genetischer Disposition für ED berechnet.

6.1 Deutscher Schäferhund

Von den 230 untersuchten Deutschen Schäferhunden sind gemäss den offiziellen ED-Gutachten 77,4% mit ED-Grad 0 (frei), 15,2% mit ED-Grad 1, weitere 3,1% mit ED-Grad 2 und 4,3% mit ED-Grad 3 beurteilt worden. Das mittlere Röntgenalter der Hunde betrug 17,9 Monate, und entspricht dem erwünschten Untersuchungszeitpunkt im zweiten Lebensjahr der Hunde. Weder die vier Gelenkwinkel, noch der EQ-Index oder der ED-Grad werden durch das Röntgenalter statistisch signifikant beeinflusst. Allerdings waren Hunde in der Boxplot Darstellung mit ED-Grad 3 durchschnittlich etwas älter. Diese Tatsache ist wahrscheinlich auf die mit steigendem Alter zunehmende Arthrosebildung, die sich im ED-Grad widerspiegelt, zu erklären. Zwischen den Geschlechtern ist ein deutlicher Unterschied in den ED-Graden festzustellen. Die ED-Grade 2 und 3 überwiegen bei den männlichen Tieren mit 9,7% gegenüber den weiblichen Tieren mit 4,3%. Eine analoge ED-Verteilung zwischen den Geschlechtern fanden auch Kirchhoff⁷¹, Janutta⁷⁰ und Pobisch⁵³ bei der deutschen Population des DSH. Sie wird erklärt durch das durchschnittlich schnellere Wachstum und höhere Körperendgewicht der Rüden.

Betrachtet man den Verlauf der ED-Grad Mittelwerte der untersuchten DSH-Population der Schweiz über die Jahre 1998 bis 2000, so ist eine deutliche Abnahme des ED-Schweregrades zu beobachten. Die Ursachen dafür können vielfältig sein und eine Vorselektion der Röntgenbilder zugunsten normaler Gelenke, eine ungleiche Geschlechtsverteilung innerhalb der 3 Jahre sowie eine wirkliche phänotypische Verbesserung des ED-Befundes umfassen.

Beim Vergleich der Winkelmittelwerte, des EQ-Indizes und des ED-Grades zeigt einzig der Olecranonwinkel einen signifikanten Geschlechtsunterschied. Er ist bei den Hündinnen durchschnittlich geringgradig grösser als bei den Rüden (Differenz – 1,34 und $p = 0,025$), ähnlich wie bei Kirchhoff. In der Arbeit von Mues³ hingegen besteht kein signifikanter Einfluss des Geschlechtes auf die vier Winkel und den ED-Grad. Die Differenzen sind trotz Signifikanz allerdings gering und, wie später gezeigt wird, ohne Bedeutung. Alle vier Winkel sind normalverteilt. Mues hat beim Rottweiler zeigen können, dass sich die durchschnittlichen Winkelgrade parallel zum ED-Grad linear ändern. Mit steigendem ED-Grad nahmen Anconaeus-, Olecranon- und Radiuswinkel kontinuierlich zu. Der Ulnawinkel hingegen sank mit steigendem ED-Grad. In dieser Arbeit verändern sich die Messwinkel zwischen den Arthrosegraden nur andeutungsweise. Einzig beim Anconaeuswinkel ist eine lineare Zunahme zu erkennen. Die Bestimmung der Winkel allein lässt demnach keinen Schluss über den ED-Grad oder gar den EQ-Index des Hundes zu.

Die Häufigkeitsverteilung der EQ-Indizes beim Deutschen Schäferhund ist normal und reicht von 0,82 bis 1,02. Der Mittelwert liegt bei 0,93 und ist etwas höher als derjenige von Mues (0,91). Mit steigendem ED-Grad wäre eine Abnahme des EQ-Index zu erwarten. Der EQ-Mittelwert sinkt mit zunehmendem ED-Grad aber nur geringfügig, und innerhalb der Hunde mit ED-Grad 1 und 3 besteht eine grosse Streubreite. Ein deutlicher Zusammenhang zwischen ED-Grad und EQ-Index ist nicht nachweisbar. Nur der Anconaeuswinkel zeigt eine signifikante Korrelation zum ED-Grad, die gesamte Schätzfunktion (Gesamte Regression der Winkel zum ED-Grad) ist jedoch hoch signifikant.

Die phänotypischen Korrelationen der Winkel zum ED-Grad sind nur teilweise signifikant, zum EQ-Index korrelieren sie wesentlich stärker. Die schwache Korrelation zwischen EQ und ED von – 0,15 ist für den Schäferhund nicht optimiert, da die Linearkombination der Winkel für den Rottweiler konzipiert

wurde. Für die Berechnung eines spezifischen EQ-Index für den Deutschen Schäferhund müssten somit die genetischen Parameter (Heritabilitäten und genetische Korrelationen) bekannt sein. In dieser Arbeit standen aber keine Abstammungsdaten zur Verfügung und somit konnte kein spezifischer Index berechnet werden.

6.2 Golden Retriever

Gemäss den offiziellen ED-Gutachten der Jahre 1997 bis 2002 sind von 471 ausgewerteten Schweizer Golden Retriever 75,4% mit ED-Grad 0 (frei), 17,6% mit ED-Grad 1, 5,3% mit ED-Grad 2 und 1,7% mit ED-Grad 3 begutachtet worden. Ähnlich wie beim DSH tritt die mittel- bis hochgradige ED bei Golden Retriever-Rüden mit 8,5% etwas häufiger auf als bei den Hündinnen mit 5,5%. Das mittlere Röntgenalter beträgt 19 Monate und die Hälfte aller Hunde wurde in einem Alter von 15 bis 20 Monaten untersucht. Damit ist die Altersverteilung ebenfalls im erwünschten Bereich und mit jener beim DSH vergleichbar.

Anders als beim DSH beobachtet man über die Jahre 1997 bis 2002 beim Golden Retriever keine Abnahme des ED-Grad-Mittelwertes, er bewegt sich zwischen 0,2 und 0,5. Der beobachtete Zeitabschnitt ist aber zu kurz, um daraus irgendwelche Schlüsse ziehen zu wollen.

Die vier Winkel und der EQ-Index werden durch das Röntgenalter nicht beeinflusst. Beim ED-Grad sind einzig in der Gruppe mit normalen Ellbogen vermehrt ältere Hunde zu finden. Der Grund dürfte sein, dass bei älteren Hunden mit ED radiologisch bereits deutliche fortgeschrittene Arthrosen sichtbar sind, die den Besitzer veranlassen, kein offizielles ED-Gutachten anzufordern.

In den Vergleichen der Winkelmittelwerte, des EQ-Indizes und der ED-Grade ist der Olecranonwinkel bei den Hündinnen im Mittel signifikant grösser als bei

den Rüden (Differenz – 1,31) Auch der EQ-Mittelwert liegt bei den männlichen Tiere mit 0,90 gegenüber den weiblichen mit 0,89 zwar signifikant, für den Einzelhund aber unwesentlich höher..

Die durchschnittliche Änderung der Winkel zwischen den ED-Graden ist beim Golden Retriever insgesamt etwas ausgeprägter als beim DSH. Am deutlichsten wird diese Verschiebung beim Anconaeuswinkel ersichtlich, der mit zunehmendem ED-Grad grösser wird. Die Grösse des Olecranonwinkels nimmt bis zum ED-Grad 2 leicht zu, bei ED-Grad 3 zeigt er allerdings eine starke Streuung. Der Ulnawinkel sinkt mit steigendem ED-Grad etwas, während der Radiuswinkel keine klare Tendenz aufweist. Nur bei ED-Grad 3 ist er etwas grösser.

Der EQ ist beim Golden Retriever normalverteilt und schwankt zwischen 0,79 und 1,02. Der Mittelwert liegt bei 0,90 und ist verglichen mit dem DSH (0,93) etwas kleiner. Im Gegensatz zum DSH nehmen beim Golden Retriever die EQ-Indizes mit steigendem ED-Grad kontinuierlich ab. Diese negative Korrelation ist aber nur bis zum ED-Grad 2 deutlich, innerhalb des ED-Grades 3 streuen die Werte ziemlich stark. Wie beim DSH korrelieren ausser dem Radius alle Winkel signifikant mit dem EQ-Index. In den partiellen Regressionen zeigen nur der Anconaeus- und Olecranonwinkel eine signifikante Korrelation zum ED-Grad, die gesamte Schätzfunktion ist jedoch hoch signifikant. Die schwache phänotypische Korrelation zwischen EQ-Index und ED-Grad von – 0,25 ist zwar etwas höher verglichen mit dem DSH (- 0,15), aber ebenfalls nicht für den Golden Retriever optimiert, da die Linearkombination der Winkel für die Vererbung beim Rottweiler konzipiert wurde. Auch hier wäre eine Berechnung eines spezifischen EQ-Index mittels genetischen Parametern (Heritabilitäten und genetische Korrelationen) des Golden Retriever nötig, um eine bessere EQ-ED Korrelation zu erzielen.

Die Resultate der genetischen Untersuchungen beim GR sind ähnlich wie jene von Mues³ beim Rottweiler. Die Heritabilität des ED-Gutachten beim GR ist mit $h^2 = 0,30$ etwas grösser als beim Rottweiler ($h^2 = 0,25$), die Heritabilität des EQ-Index ist bei beiden Rassen ungefähr gleich gross (GR 0,59 und Rottweiler 0,60). Die genetische Korrelation zwischen ED und EQ ist beim GR mit $-0,48$ etwas geringer als beim Rottweiler ($-0,64$). Gemäss den Heritabilitäts-schätzungen der rechten und linken Ellbogen sind die genetischen Korrelationen für ED und EQ gleich 1 (identisch), es bestehen also wie erwartet keine spezifische Genotypen für die rechte und linke Seite. Werden nur die Datensätze der ED herangezogen, für welche auch der EQ vorlag, wurde in der multivariaten Schätzung (welche auch züchterisch verwendet wird) eine Heritabilität des ED-Mittelwertes von $h^2 = 0,235$ geschätzt.

Da die rassespezifischen Parameter des Rottweilers für andere Rassen nicht optimal sind, wurde zusätzlich ein rassespezifischer Selektionsindex für den Golden Retriever und Labrador Retriever konstruiert. Die spezifischen Gewichtungen wurden aus den Korrelationsmatrizen und den multivariaten Schätzungen der Heritabilität und genetischen Korrelationen abgeleitet. Der konstruierte Golden Retriever EQ-Index korreliert zum Genotyp von ED mit $-0,55$. Im Vergleich dazu korreliert der allgemein definierte EQ-Index nur mit $-0,29$. Werden zusätzlich noch die Winkel ergänzend zu der Information aus den ED-Gutachten genommen, so erreicht der GR EQ-Index sogar eine Korrelation von $-0,68$.

ED kann züchterisch auf vier Arten angegangen werden: 1. nach dem ED-Gutachten (Mittelwert von rechts und links); 2. nach dem allgemein definierten EQ-Index (Mues³); 3. nach dem spezifisch für die jeweilige Rasse optimierten EQ-Index und 4. nach einer Kombination aus ED-Gutachten und rassespezifischen EQ-Index. Da die Kombination der 4. Option mit einer Korrelation von 0,68 zum Genotyp von ED am besten ausfällt, scheint sie als züchterische Grundlage in der Bekämpfung der ED am besten geeignet.

6.3 Labrador Retriever

Nach den offiziellen ED-Gutachten der Jahre 1997 bis 2002 sind von 523 ausgewerteten Schweizer Labrador Retriever durchschnittlich 75,7% mit ED-Grad 0 (frei), 13% mit ED-Grad 1, 4,4% mit ED-Grad 2 und 6,9% mit ED-Grad 3 beurteilt worden. Wie beim DSH und GR ist die mittel- und hochgradige ED bei den männlichen Tieren mit 19% deutlich grösser als bei den weiblichen Tieren mit 6,7%. Auffällig ist auch die grössere Anzahl der Tiere mit ED-Grad 3 (6,9%) als diejenige der Tiere mit ED-Grad 2 (4,4%). Die Hälfte aller Hunde wurde in einem Alter von 13 bis 20 Monate untersucht und das mittlere Röntgenalter beträgt 17,9 Monate.

Die ED-Grad-Mittelwerte der Jahre 1997 bis 2002 zeigen nur geringgradige Schwankungen (Werte zwischen 0,4 und 0,5) und wie beim GR ist keine Verbesserung zu erkennen. Auch beim Labrador Retriever ist kein Einfluss des Röntgenalters auf den ED-Grad feststellbar. Vergleicht man die Mittelwerte der Winkel, der ED-Grade und des EQ-Indizes, so weist der Olecranonwinkel wie beim DSH und GR einen signifikanten Geschlechtsunterschied auf ($p = 0,003$). Bei den weiblichen Tieren ist der Olecranonwinkel im Mittel etwas grösser als bei den männlichen (Differenz $-1,09$) und der Radiuswinkel ist bei den männlichen Hunden etwas grösser als bei den weiblichen (Differenz $1,25$) und weist auch eine signifikante Geschlechtsdifferenz auf ($p = 0,005$).

Im Gegensatz zum DSH und GR zeigt der Labrador Retriever beim ED-Grad Mittelwert einen höchst signifikanten Geschlechtsunterschied ($p = 0,000$), wobei die männlichen Tiere mit $0,63$ deutlich höher liegen als die weiblichen mit $0,30$. Die Häufigkeitsverteilungen der vier Winkel zeigen wie die anderen beiden Rassen eine Normalverteilung. Alle Winkel, ausser der Ulnawinkel, sind bei den Messungen von Schwencke im Durchschnitt kleiner als in dieser Arbeit gemessen. Diese Differenzen sind womöglich auf eine unterschiedliche Messpunktesetzung im Ellbogengelenk zurückzuführen. In den Arbeiten von

Mues und Schwencke wurde die Gerade b (siehe Abb. 7) an den kranialsten Punkt des Olecranon gelegt. In dieser Arbeit wurde sie an die tiefste Stelle zwischen Processus anconaeus und kranialem Olecranon gelegt. Somit werden bei Schwencke mit zunehmender Arthrose verständlicherweise der Ulnawinkel grösser und der Anconaeus- und Olecranonwinkel kleiner. Die kleineren Radiuswinkel bei Schwencke könnten dadurch erklärt werden, dass ihre Hunde mehrheitlich ED frei waren und somit keine Auflagerungen am kranialen Rand des Radiuskopfes aufwiesen. Die durchschnittlichen Winkelwerte in dieser Arbeit basieren auf der gesamten Population, ungeachtet der ED-Grade. Auch beim LR nehmen Anconaeus-, Olecranon- und Radiuswinkel mit steigendem Arthrosegrad zu, während der Ulnawinkel abnimmt. Allerdings sinkt der Anconaeuswinkel bei Hunden mit ED-Grad 3 wieder leicht. Es ist also keine eindeutige lineare Zunahme der Winkelgrade auszumachen.

Die Häufigkeitsverteilung des EQ-Index beim Labrador Retriever ist normal und reicht von 0,82 bis 1,02. Der Mittelwert liegt bei 0,94 und ist geringgradig höher als derjenige beim DSH mit 0,93 und beim GR mit 0,90. Der EQ-Mittelwert nimmt mit steigendem ED-Grad leicht ab, wobei aber zwischen ED-Grad 2 und 3 kein Unterschied mehr besteht. Ähnlich wie beim DSH und GR besteht keine lineare Abnahme des EQ-Index mit steigendem ED-Grad, wie es Mues beim Rottweiler beobachtet hat. Wie beim DSH und GR korrelieren die einzelnen Winkel unterschiedlich signifikant mit dem EQ. Am besten korreliert der Olecranonwinkel mit $-0,93$, am schlechtesten der Radiuswinkel mit $0,11$. In den partiellen Regressionen zeigen nur der Anconaeus- und der Ulnawinkel signifikante Korrelationen zum ED-Grad, die gesamte Schätzfunktion ist jedoch hoch signifikant. Die phänotypische Korrelation zwischen EQ-Index und ED-Grad von $-0,31$ ist im Vergleich zum DSH und GR deutlich besser, obwohl sie für den Labrador Retriever nicht optimiert ist. Wie beim DSH und GR wäre auch hier eine Berechnung eines spezifischen EQ-Index mittels genetischen Parametern (Heritabilitäten und genetischen Korrelationen) des Labrador Retrievers nötig, um eine bessere EQ-ED Korrelation zu erzielen.

Die Ergebnisse der Varianzkomponentenschätzung beim LR zeigen, dass eine maternale Beeinflussung der Merkmale vorliegt. Die bivariate Schätzung der Heritabilität beim LR liegt für die ED bei $h^2 = 0,13$ und für den EQ-Index bei $h^2 = 0,37$. Die relative maternale Varianz liegt für die ED bei 0,08 und für den EQ-Index bei 0,06. Die maternale Korrelation zwischen ED und EQ beträgt 1, während die erwartete hohe negative genetische Korrelation mit 0,17 gering positiv ausfällt. Betrachtet man die Heritabilitätsschätzungen der rechten und linken Ellbogen getrennt, so sind bei der ED und beim EQ-Index die genetischen Korrelationen 1,0. In den bivariaten und multivariaten Schätzungen der rechten und linken Ellbogen sind ähnliche Heritabilitäten der einzelnen Winkel, aber unterschiedliche Heritabilitäten bei der ED auffällig: Sie betragen für die ED rechts $h^2 = 0,04$ (bivariat) und $h^2 = 0,03$ (multivariat) und für die ED links $h^2 = 0,23$ (bivariat) und $h^2 = 0,25$ (multivariat). Die Gegenüberstellungen der Schätzungen von rechts und links zeigen deutlich, wie unzuverlässig die Wiederholbarkeit der Parameterschätzung wegen der geringen Datenmengen ($n = 508$) sind. Die Ergebnisse der ED-Begutachtung beim Labrador Retriever müssen also besonders kritisch hinterfragt werden.

Da die rassespezifischen Parameter des Rottweilers nicht einfach für andere Rassen übernommen werden können, wurde in dieser Arbeit für den Golden Retriever und den Labrador Retriever je ein rassespezifischer Selektionsindex konstruiert. Die spezifischen Gewichtungen sind aus den Korrelationsmatrizen und den multivariaten Schätzungen der Heritabilität und genetischen Korrelationen abgeleitet worden, ein maternaler Effekt wurde dabei berücksichtigt. Der konstruierte Labrador Retriever EQ-Index korreliert zum Genotyp von ED mit $-0,55$ und damit deutlich besser als der allgemein definierte EQ-Index mit $-0,102$. Diese suboptimale Gewichtung hat keine ausreichende Korrelation zum ED-Gutachten, welches ohnehin kaum einen genetischen Hintergrund aufweist ($h^2 = 0,13$). Werden zur Information aus den ED-Gutachten zusätzlich noch die Winkel hinzugezogen, so erreicht der LR EQ-Index mit $-0,56$ praktisch dieselbe Korrelation.

Wie beim GR stehen vier Optionen zur Verfügung, nach welchen man züchterisch die ED angehen kann. Da die Kombination aus ED-Gutachten und rassespezifischem EQ-Index keine bessere Korrelation zum Genotyp von ED aufweist, könnte man für diese Rasse allein die rassespezifische EQ-Gewichtung als Grundlage in der Bekämpfung der ED verwenden.

6.4 Methodische Prüfung der Vermessungstechnik

6.4.1 Bildqualität

Die Vorteile des digitalen Vermessungs-Programmes von Beuing liegen auf der Hand. Mit ein paar wenigen Mausklicks sind die Winkel und der EQ-Index in wenigen Sekunden berechnet. Allerdings ist die Qualität der digital verarbeiteten Röntgenbilder für eine präzise Messung oft ungenügend. Mues hatte die Röntgenbilder von Auge und mit der Hand vermessen und war sicherlich genauer. Dem digitalen System waren zum Zeitpunkt dieser Studie technische Grenzen gesetzt. Feineinstellung des Kontrastes, die Helligkeitsadaptation und die Auflösung des Röntgenbildes waren begrenzt und konnten das menschliche Auge nicht ersetzen. Über- oder unterbelichtete Bilder waren für die computerunterstützte Vermessungstechnik nicht tauglich. Auf ihnen mussten die Gelenkspunkte oftmals mit einem Stift markiert oder das Röntgenbild am Negatoskop betrachtet werden, um die relevanten Stellen im digitalen Bild erkennen zu können. Undeutlich erkennbare Messpunkte bergen somit unweigerlich die Gefahr einer fehlerhaften Winkelmessungen und damit von falschen EQ-Indizes. Auch für das Erstellen von ED-Gutachten sind Röntgenbilder von guter Bildqualität erforderlich. Mit Hilfe von Starklichtquellen können aber überbelichtete Bilder meistens trotzdem noch interpretiert werden, während in einem solchen Fall die digitale Vermessungstechnik versagt.

6.4.2 ED-Status

Die Messvorschriften nach Beuing besagen, die Messpunkte an der ursprünglichen Knochenkontur ohne arthrotische Auflagerungen zu messen, was aber bei hochgradiger Arthrose oft nicht möglich ist. Diese Vorschrift wurde von Mues³ nicht erwähnt und in der vorliegenden Arbeit wurde das Ausmass der Arthrose bei der Festsetzung der Messpunkte nicht berücksichtigt. Das Hauptproblem bei den EQ-Messungen ist denn auch die arthrosebedingte Veränderung der ursprünglichen Knochenkontur. Sobald diese nicht mehr erkennbar ist, können auch die Gelenkspunkte nicht mehr zuverlässig identifiziert werden. Wenn bei einem verformten Gelenk die Ränder der arthrotischen Zubildungen als Referenzpunkte herangezogen werden, resultiert daraus ein höherer EQ-Index. Die Grundlage der Gelenkwinkelmessung liegt ja gerade darin, nicht die sekundäre Arthrose, sondern die ursprüngliche Gelenkform zu erfassen.

Beim Vorliegen eines LPA kann das Gelenk überhaupt nicht ausgemessen werden, da diese Läsion die ursprüngliche Gelenkskontur enorm verändert und unausweichlich zu falschen EQ-Indizes führt. Mues hat die EQ-Indizes bei Hunden mit unilateralem LPA nur am gesunden Gelenk gemessen und die LPA-betroffene Seite als fehlend behandelt. Wie ein Hund mit einem LPA in einem Zuchtprogramm, dem der EQ-Index zu Grund gelegt wird, zu handhaben ist, ist ungeklärt. Eine Lösung wäre, beim Vorliegen eines unilateralem LPA die gesunde Seite gespiegelt zu erfassen und bei Nachweis eines beidseitigen LPA einen statistisch ermittelten Erwartungswert einsetzen, der aus der Extrapolation aus den unilateralen Fälle abgeleitet wurde.

Die Primärläsion OCD kann meist nur auf der kranio-kaudalen Röntgenaufnahme diagnostiziert werden, bei der Gelenksvermessung nach Mues wird aber nur die medio-laterale Aufnahme verwendet. Direkt hat diese Läsion also keinen Einfluss auf den EQ-Index, aber indirekt verändert die

resultierende sekundäre Arthrosebildung die ursprüngliche Knochenkontur und somit auch die Winkel im Gelenk und den EQ-Index. Die Primärläsion FPCM als solche ist häufig radiologisch überhaupt nicht eindeutig erkennbar, nur die Arthrosebildung führt zur Diagnose. Falls eine alleinige FPCM Läsion ohne Arthrosebildung vorliegt, hat diese auf die Punktesetzung keinen Einfluss. Bei Hunden mit einer Primärläsion unterscheiden sich zwar die mittleren EQ-Indizes von solchen mit normalen Gelenken, sind aber nicht signifikant verschieden.

Prädilektionsstellen für Osteophytenformation sind der kraniale Rand des Radiuskopfes, des Humerus und der proximale Rand des Processus anconaeus. An diesen Stellen werden exakte Bestimmungen der Gelenkspunkte deutlich erschwert und somit wird auch der EQ-Index beeinflusst. Deutlich ersichtlich wird dies an den Winkelgrössen und EQ-Indizes der drei gemessenen Ellbogengelenke mit ED-Grad 3 (siehe Abb. 58-60). Bei allen drei arthrotischen Gelenken ist der Olecranonwinkel deutlich kleiner, was durch die Auflagerungen am kranialen Rand des Olecranons erklärbar ist. Die restlichen Winkel werden infolge Auflagerungen an den relevanten Messpunkten grösser als bei Messungen an der ursprünglichen Knochenstruktur. Auflagerungen am kranialen Olecranon führen zu einem grösseren Ulnawinkel und einem kleineren Olecranonwinkel. Auch der EQ-Index wird infolge der grösseren Winkel grösser als bei einer Messung an der ursprünglichen (arthrosefreien) Kontur und suggeriert ein gesundes Gelenk.

6.4.3 Ellbogenprojektion

Die verschiedenen Ellbogenlagerungen beeinflussen die Winkelgrössen und den EQ-Index zum Teil deutlich. Die verschiedenen Ellbogenöffnungswinkeln (neutrale, gebeugte und gestreckte Haltung) führen einzig beim Olecranonwinkel zu signifikanten Unterschieden, was auch von Kirchhoff⁷¹ beobachtet wurde. Mues³ fand keine vom Beugungsgrad abhängige Winkel.

Auch in unserer Studie zeigen die restlichen Winkelmessungen Korrelationen zwischen 0,6 und 0,9 und sind damit nicht signifikant verschieden. Entsprechend sind auch die EQ-Mittelwerte bei allen drei Ellbogenöffnungswinkeln nicht signifikant verschieden. Eine Pronation bzw. Supination des Ellbogens hingegen führt mit Ausnahme des Anconaeuswinkel zu signifikanten und z.T. grossen Unterschieden. Mit bis zu 14,8° Unterschied zwischen Pronation und Supination zeigt dies der Radiuswinkel am deutlichsten, da der ovale Radiuskopf bei axialer Rotation auf dem Röntgenbild verschieden gross abgebildet wird. Durch axiale Rotation des Ellbogengelenkes (Supination und Pronation) werden der Radius- und Ulnawinkel verändert, was auch von Schwencke⁸⁰ bestätigt wird. Als Folge ändert sich der EQ-Index, der bei Pronation kleiner ausfällt. Die Diagnose eines FCP wird durch Supination erleichtert, denn dadurch wird der Vorderrand des PCM nach kranial projiziert und damit besser beurteilbar. Eine Standardisierung der Supination ist aber unter Praxisbedingungen kaum realisierbar. Solange die Röntgenaufnahmen der Ellbogen aber gemäss den Empfehlungen der IEWG erstellt werden und bildtechnisch befriedigen, können sie mit dem Vermessungssystem nach Beuing ausgewertet werden. Aufnahmen in extremen Stellungen hingegen müssten von der Bewertung ausgeschlossen werden. In der ED-Begutachtung werden Abweichungen von der neutralen Gelenkstellung bei ausreichender Darstellung des proximalen Anconaeusrandes toleriert.

6.4.4 Messpunkte

Die Lage der Messpunkte beeinflusst den EQ-Index zum Teil massiv. Sowohl die Verschiebungsrichtung als auch die Entfernung vom Nullpunkt können den EQ-Index entscheidend verändern. Abweichungen von mehr als 4 mm vom wahren Messpunkt sind allerdings nicht zu erwarten, deshalb sollen im Folgenden nur die Abweichungen von 0 bis 4 mm betrachtet werden. In diesen Grössenbereich liegen auch die durch Arthrose gebildeten Knochenauflagerungen, noch grössere sind bei jungen Hunden selten zu finden.

Aus den graphischen Darstellungen wird ersichtlich, dass vor allem die Lage des Humeruskondylus-Mittelpunktes, der Anconaeusspitze und der Olecranongrube den EQ-Index am stärksten beeinflussen. Arthrotische Auflagerungen bilden sich vor allem an der Anconaeusspitze, der Olecranongrube und dem kranialen Rand des Radiuskopfes. Auflagerungen am Processus anconaeus führen zu kleinen EQ-Werten, an der Olecranongrube hingegen zu grossen, d.h. zu einem guten EQ-Index. Auflagerungen am Radiuskopf führen zwar zu einem grösseren Radiuswinkel, beeinflussen den EQ-Wert aber kaum. Da die Messpunkte nicht immer exakt platziert werden können und Auflagerungen unausweichlich kleine Abweichungen nach sich ziehen, können abweichende EQ-Indizes resultieren.

6.4.5 Wiederholbarkeiten

Die Seitenorientierung der Ellbogengelenke im Bildbearbeitungs-Programm ist so festgelegt, dass bei rechten Gelenken das Olecranon nach rechts und bei linken nach links zeigt. In der Radiologie werden aber beide Ellbogengelenke wie ein rechtes betrachtet. Bei der Überprüfung des Einflusses der Seitenorientierung auf den Untersucher hat sich gezeigt, dass signifikante Unterschiede in den Anconaeus- und Radiuswinkel bestehen. Trotz dieser Unterschiede ergeben sich für die EQ-Indizes der rechten und linken Ellbogenmessungen keine signifikanten Differenzen. Die Korrelation der EQ-Indizes ist mit 0,94 gut, die Seitenorientierung hat somit keinen entscheidenden Einfluss. In Zukunft werden tierärztliche Gutachter (Radiologen) vermehrt mit digitalen Systemen arbeiten, wo eine Spiegelung der Bilder einfach und ohne Qualitätseinbusse möglich ist, so dass eine einheitliche Betrachtungsweise der Röntgenbilder gewährleistet ist.

Die gepaarten Mittelwerte der Winkelmessungen zwischen zwei Gutachtern differieren hoch signifikant, mit Ausnahme der beiden Ulnawinkelpaarungen. Die Korrelationen der Messwinkel- und EQ-Paarungen fallen einzig beim

Anconaeuswinkel beidseits (Korr.Koeffizient rechts= 0,12 bzw. links= 0,45) und beim Radiuswinkel rechts (Korr.Koeffizient= 0,58) schlecht aus. Die beste Korrelation erreichte der Olecranonwinkel beidseits mit einem Korr.Koeffizient von 0,89. Unsere Ergebnisse bewegen sich in denselben Grössenordnungen wie bei Kirchhoff⁷¹. Zusätzlich wurden in dieser Arbeit noch die Korrelationen der EQ-Indizes zwischen den zwei Gutachtern berechnet, wobei eine höhere Korrelation der linken EQ-Paarung mit 0,89 gegenüber der rechten mit 0,80 auffällig ist. Der Grund für diese doch deutliche Seitendifferenz ist unklar. Die Gesamt-EQ-Indices von Gutachter 1 und 2 korrelieren trotz signifikanten Unterschieden in fast allen Paarungen mit 0,91 recht gut.

Zwischen den gepaarten Mittelwerten von 2 zeitlich verschobenen Messungen der Winkel durch 1 Gutachter bestehen keine signifikanten Differenzen in. Der Anconaeuswinkel korreliert mit 0,65 links am geringsten und der Olecranonwinkel mit 0,92 rechts am besten. In den Untersuchungen von Kirchhoff (3 Messzyklen) lag die niedrigste Wiederholbarkeit beim Anconaeuswinkel mit $w = 0,39$ und die höchste beim Olecranonwinkel mit $w = 0,76$. In der Arbeit von Schwencke⁸⁰ wurde die Reproduzierbarkeit der Winkelmessung von einer Person anhand von 3 Messzyklen geprüft, und es wurde kein signifikanter Unterschied festgestellt. Die Messwiederholungen der Intra- und Interclass Korrelationen sind ungefähr gleich gut: die beste Wiederholbarkeit fand sich beim Olecranonwinkel, die schlechteste beim Anconaeuswinkel. In dieser Arbeit wurden zusätzlich die Korrelationen der EQ-Paarungen berechnet, wobei auch hier signifikante Differenzen bestehen. Im Gegensatz zu den Ergebnissen zwischen zwei Gutachtern korreliert bei einem Gutachter die linke EQ-Paarung mit 0,82 schlechter als die rechte mit 0,90. Der Gesamt-EQ korreliert mit 0,93 etwas besser als bei den Messungen zwischen 2 Gutachtern, wo die Korrelation des Gesamt-EQ 0,91 beträgt.

Die grössten Differenzen bei den Messwiederholungen der Intra- und Interclass Korrelation bestehen eindeutig in der Anconaeus-Winkelmessung. Dies könnte

einerseits auf eine ungenügende Bildqualität mit schlecht erkennbarem Processus anconaeus oder undeutlicher Olecranongrube, andererseits auf Zubildungen infolge Arthrose zurückzuführen sein. Aber auch die Erfahrung des Untersuchers in der Vermessungstechnik könnte einen Einfluss haben. Von den restlichen Gelenkwinkeln scheint der Olecranonwinkel die verlässlichsten Winkelmesswerte zu geben, was womöglich mit der relativ einfach zu setzenden Achsenparallelen des Radius zu tun haben könnte.

7 Schlussfolgerungen

Bei der Benutzung des Digitalen Messsystems bestehen hohe Anforderungen an die Qualität der Röntgenbilder. Die Messvorschriften nach Beuing besagen, den ursprünglichen und unveränderten Knochen zu messen, was bei hochgradiger Arthrose oft nicht möglich ist. Wenn Zubildungen (Arthrose) am Gelenk mitgemessen werden, weil die Originalkontur nicht zuverlässig zu identifizieren ist, ergeben sich falsch günstige (hohe) EQ-Indizes. Bei Verwendung der digitalen Bildauswertung ist es schwierig oder oft sogar unmöglich, die durch arthrotische Zubildungen maskierten Messpunkte exakt zu erkennen. Zudem beeinflussen die verschiedenen Ellbogenlagerungen die Winkelgrößen und den EQ-Index zum Teil deutlich. Solange die Röntgenaufnahmen der Ellbogen gemäss Empfehlungen der IEWG erstellt werden und qualitativ genügend sind, können sie mit dem Vermessungssystem nach Beuing ausgewertet werden. Aufnahmen in extrem gebeugter, gestreckter, zu stark pronierter oder supinierter Haltung führen zwar zu veränderten Werten, ihr Einfluss liegt aber im Zufallsbereich und ist nicht signifikant.

Schon kleine Verschiebungen der einzelnen Messpunkte (z.B. infolge Verlust der Originalkonturen durch Arthrose) haben grosse Auswirkungen auf den EQ des einzelnen Tieres. Messpunkteverschiebungen von mehr als 2 mm sind aber nicht zu erwarten, sie sollen vielmehr den Grad und die Richtung der EQ-Veränderungen veranschaulichen.

Die Seitenorientierung der Röntgenbilder im digitalen Messsystem führen zu keinen signifikanten Differenzen zwischen den EQ-Indizes.

Die hohen Korrelationen der Messungen zwischen zwei Gutachtern mit 0,91 und einem Gutachter mit 0,93 belegen die gute Wiederholbarkeit des Messverfahrens.

Die Züchter sind bestrebt, Hunde mit möglichst guten Gelenken einzusetzen. Die Graduierung der ED in nur 4 Grade gemäss IEWG-Vorgaben limitiert aber die Selektion, da ca. 75% der Hunde in Grad 0 fallen. Es stellt sich somit die Frage, wie die wirklich guten Vererber innerhalb der ED freien Hunde erkannt werden können. Als Hilfe könnte nun der Ellbogenqualitäts-Index beigezogen werden. Dieser, spezifisch auf die Rasse abgestimmt, könnte als Grundlage für eine optimierte Zuchtwertschätzung dienen, da damit die Möglichkeit einer Feingraduierung innerhalb einer grösseren Skala (0,85 bis 1,00) besteht. Der EQ-Index ist eine Funktion zur Beschreibung (Vorhersage) des ED bestimmenden Genotyps.

Die Resultate der genetischen Berechnungen belegen, dass der Ellbogenqualitäts-Index und die Winkel bessere Heritabilitäten als der ED-Grad aufweisen. Die Gelenkwinkel, welche durch die Anatomie vorgegeben sind, zeigen zum grossen Teil hohe Heritabilitäten, während die ED, zum grossen Teil durch die Umwelt bedingt, eine deutlich schlechtere Heritabilität aufweist. Insbesondere beim Labrador Retriever liegt die Heritabilität des ED-Grades nur bei $h^2 = 0,13$ (bivariate Schätzung), während die Heritabilität des EQ-Indexes mit $h^2 = 0,36$ deutlich höher liegt und sich somit besser zur züchterischen Selektion eignen würde.

Beim Labrador Retriever und Golden Retriever sind die Korrelationen zum Genotyp für ED beim EQ-Index deutlich grösser als beim ED-Grad. Die beste Korrelation ergibt sich aus einer Kombination von ED-Grad (ED-Gutachten) mit Winkelmessung. Diese Kombination der ED-Diagnostik und Selektionsindexerfassung (EQ-Index) wäre als züchterische Grundlage zur Bekämpfung der ED am besten geeignet.

8 Literaturverzeichnis

1. Flückiger M. Ellbogendysplasie (ED) beim Hund. Schweizer Archiv für Tierheilkunde 1992;134:261-271.
2. Beuing R. Bericht über das Verfahren technischer Vermessung von Gelenken zur Bestimmung der Hüft- und Ellbogenqualität bei Retrievern. Seminar in Guxhagen; 2001.
3. Mues C. Charakterisierung und Vererbung des Arthroserisikos der Ellbogendysplasie (ED) beim Hund. Institut für Tierzucht und Haustiergenetik. Giessen: Justus Liebig Universität Giessen; 2001.
4. Beuing R. Charakterisierung und Vererbung des Arthroserisikos bei der ED des Hundes. Gesellschaft zur Förderung Kynologischer Forschung e.V., Bonn; 2001.
5. Nickel R, Schummer A, Seiferle E. Ellbogengelenk, Articulatio cubiti. Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Berlin und Hamburg: Verlag Paul Parey; 1992:S.232.
6. Berzon JL, Quick CB. Fragmented coronoid process: anatomical, clinical and radiographic considerations with case analyses. Journal of the American Animal Hospital Association 1980;16:241-250.
7. Goring RL, Bloomberg MS. Selected developmental abnormalities of the canine elbow: radiographic evaluation and surgical management. Comp. Cont. Ed. 1983;5:178-188.
8. Audell L. Heredity of elbow dysplasia: Can elbow dysplasia be controlled by judicious breeding. American Animal Hospital Association Scientific Breeding 1990:730-733.
9. Olsson SE. General and Etiologic Factors in Canine Osteochondrosis. Veterinary Quarterly 1987;9:268-278.
10. Nap R. Pathophysiology and clinical aspects of canine elbow dysplasia. In: Proceedings of the 7th International Elbow Working Group meeting, IEWG. 1995. Constance, Germany.
11. Grondalen J. Arthrosis with special reference to the elbow joint of young rapidly growing dogs. II. Occurrence, clinical and radiographical findings. Nordisk Veterinär Medicin 1979;31:69-75.
12. Morgan JP, Wind A, Davidson AP. Hereditary Bone and Joint Diseases in the dog. Hannover: Schlütersche Verlag; 2000:55.
13. Grondalen J. Malformation of Elbow Joint in an Afghan Hound Litter. Journal of Small Animal Practice 1973;14:83-89.
14. Olsson SE. Osteochondrosis - a growing problem to dog breeders. Gaines dog research progress 1976; Summer-edition: 1-11.

15. Poulos PW. Canine Osteochondrosis. *Veterinary Clinics of North America-Small Animal Practice* 1982;12:313-328.
16. Wind AP. Etiology and pathogenesis of elbow dysplasia: a hypothesis. In: *American Animal Hospital Association's 57th Ann. Meeting*. 1990. San Francisco.
17. Grondalen J. Arthrosis with special reference to the elbow joint of young rapidly growing dogs. A review of the literature. *Nordisk Veterinær Medicin*. 1979;31:62-68.
18. Mason TA, Lavelle RB, Skipper SC, Wrigley WR. Osteochondrosis of the Elbow Joint in young Dogs. *Journal of Small Animal Practice* 1980;21:641-656.
19. Houlton JEF. Osteochondrosis of the Shoulder and Elbow Joints in Dogs. *Journal of Small Animal Practice* 1984;25:399-413.
20. Beuing R, Mues CH, Tellhelm B, Erhardt G. Prevalence and inheritance of canine elbow dysplasia in German Rottweiler. *Journal of Animal Breeding and Genetics. Zeitschrift für Tierzüchtung und Züchtungsbiologie* 2000;117:375-383.
21. R. Beuing NJ, H. Wurster, O. Schmied, M. Flückiger. Untersuchungen zur züchterischen Bedeutung der Ellbogendysplasie (ED) beim Berner Sennenhund in Deutschland. *Schweizer Archiv für Tierheilkunde* 2005;11.
22. Hedhammar A. Mitteilungen und WSAVA Vorprogramm. in *Wissenschaftliche Kommission der FCI*. 1991. Dortmund.
23. Voorhout G, Hazewinkel HAW. A Radiographic Study on the Development of the Antebrachium in Great Dane Pups on Different Calcium Intakes. *Veterinary Radiology* 1987;28:152-157.
24. Schawalder P. Osteochondrosekomplex am Ellbogengelenk. In: *Jahrestagung der schweizerischen Vereinigung für Kleintiermedizin*. 1990. Biel: Referatesammlung 52-64.
25. Grondalen J, Grondalen T. Arthrosis in the Elbow Joint of Young Rapidly Growing-Dogs .5. A Pathoanatomical Investigation. *Nordisk Veterinær Medicin* 1981;33:1-16.
26. Olsson SE. The Early Diagnosis of Fragmented Coronoid Process and Osteochondritis Dissecans of the Canine Elbow Joint. *Journal of the American Animal Hospital Association* 1983;19:616-626.
27. Lewis DD, Parker RB, Hager DA. Fragmented Medial Coronoid Process of the Canine Elbow. *Compendium on Continuing Education for the Practicing Veterinarian* 1989;11:703-715.
28. Olsson S. Pathophysiology, morphology, and clinical signs of osteochondrosis in the dog. In: Bjorab MS, Smeak DD, Bloomberg MS,

- Editors, eds. Disease mechanisms in small animal surgery. Philadelphia: Lea&Febiger; 1993:777-796.
29. Carpenter LG, Schwarz PD, Lowry JE, Park RD, Steyn PF. Comparison of Radiologic Imaging Techniques for Diagnosis of Fragmented Medial Coronoid Process of the Cubital Joint in Dogs. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 1993;203:78-83.
 30. Kirberger RM, Fourie SL. Elbow dysplasia in the dog: pathophysiology, diagnosis and control. *Journal of the South African Veterinary Association* 1998;69:43-54.
 31. Grondalen J, Rorvik AM. Arthrosis in the elbow joint of young rapidly growing dogs. IV. Ununited anconeal process. A follow up investigation of operated dogs. *Nordisk Veterinær Medicin* 1980;32:212-218.
 32. Guthrie S. Some Radiographic and Clinical Aspects of Ununited Anconeal Process. *Veterinary Record* 1989;124:661-662.
 33. Sjostrom L, Kasstrom H, Kallberg M. Ununited Anconeal Process in the Dog - Pathogenesis and Treatment by Osteotomy of the Ulna. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* 1995;8:170-176.
 34. Ljunggren G, Cawley AJ, Archibald J. Elbow Dysplasias in Dog. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 1966;148:887-891.
 35. Thacher C. Ununited anconeal process. In: Slatter, Editor, *Textbook of small animal surgery*. Philadelphia: W B Saunders; 1993:1977-1981.
 36. Weis M. Knochenwachstumuntersuchungen mittels fluoreszenzmikroskopischer, mikroradiographischer Techniken am Ellbogengelenk sowie distal am Radius und Ulna beim jungen Hund. Ein Beitrag zur Ätiologie und Pathogenese der Osteochondrosis des Ellbogengelenkes. *Veterinärmedizinische Fakultät der Universität Zürich*; 1983.
 37. Wind A. Elbow incongruity and developmental elbow disease in the dog: Part I. *Journal of the American Animal Hospital Association* 1986;22:711-724.
 38. Brass W. Über die Osteochondrosis des Hundes. eds. *Tierärztliche Umschau*; 1956:200-204.
 39. Flückiger M. Radiographic diagnosis of elbow dysplasia in the dog: requirements for the internationally standardized screening procedure. In: *Proceedings of the 8'th international elbow working group meeting, IEWG*. 1997. Birmingham.
 40. Keller GG, Kreeger JM, Mann FA, Lattimer JC. Correlation of radiographic, necropsy and histologic findings in 8 dogs with elbow dysplasia. *Veterinary Radiology & Ultrasound* 1997;38:272-276.

41. Grondalen J. Arthrosis in the elbow joint of young rapidly growing dogs. VI. Interrelation between clinical, radiographical and pathoanatomical findings. *Nordisk Veterinær Medicin* 1982;34:65-75.
42. Miyabayashi T, Takiguchi M, Schrader SC, Biller DS. Radiographic Anatomy of the Medial Coronoid Process of Dogs. *Journal of the American Animal Hospital Association* 1995;31:125-132.
43. Wind A. Elbow dysplasia. In: Slatter D, Editor, eds. *Textbook of small animal surgery*. Saunders W B; 1993:1966-1977.
44. Bardet JF. Arthroscopy of the elbow in dogs .2. The cranial portals in the diagnosis and treatment of the lesions of the coronoid process. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* 1997;10:60-66.
45. Snaps FR, Balligand MH, Saunders JH, Park RD, Dondelinger RF. Comparison of radiography, magnetic resonance imaging, and surgical findings in dogs with elbow dysplasia. In: *Proceedings of the 4th European Association of Diagnostic Imaging Conference*. 1996. Cambridge.
46. Berry CR. Evaluation of the Canine Elbow for Fragmented Medial Coronoid Process. *Veterinary Radiology & Ultrasound* 1992;33:273-276.
47. Boudrieau RJ, Hohn RB, Bardet JF. Osteochondritis Dissecans of the Elbow in the Dog. *Journal of the American Animal Hospital Association* 1983;19:627-635.
48. Hazewinkel HA, Meij BP, Nap R, Dijkshoorn N, Ubbink GJ, Wolvekamp W. Radiographic views for elbow dysplasia screening in Bernese mountain dogs. In: *Proceedings of the 7th International Elbow Working Group meeting*. 1995. Konstanz.
49. Guthrie S. Use of a Radiographic Scoring Technique for the Assessment of Dogs with Elbow Osteochondrosis. *Journal of Small Animal Practice* 1989;30:639-644.
50. Wind A. Incidence and radiographic appearance of fragmented coronoid process. *California Veterinarian* 1982;6:19-25.
51. IEWG. Elbow Protocol. In: *Proceedings of the International Elbow Working Group's 14th meeting*. 2003. Estoril (Portugal).
52. Lang J, Busato A, Baumgartner D, Fluckiger M, Weber UT. Comparison of two classification protocols in the evaluation of elbow dysplasia in the dog. *Journal of Small Animal Practice* 1998;39:169-174.
53. Pobisch R, Geres V, Arbesser E. Ellbogendysplasie beim Hund. *Wiener Tierärztliche Monatsschriften* 1972;59:297-307.

54. Hayes HM, Selby LA, Wilson GP, Hohn RB. Epidemiologic Observations of Canine Elbow Disease (Emphasis on Dysplasia). *Journal of the American Animal Hospital Association* 1979;15:449-453.
55. Bennett D, Duff SR, Kene RO, Lee R. Osteochondritis dissecans and fragmentation of the coronoid process in the elbow joint of the dog. *Veterinary Record* 1981;109:329-336.
56. Swenson L, Audell L, Hedhammar A. Prevalence and inheritance of and selection for elbow arthrosis in Bernese mountain dogs and Rottweilers in Sweden and benefit: cost analysis of a screening and control program. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 1997;210:215-221.
57. Morgan JP, Wind A, Davidson AP. Bone dysplasias in the labrador retriever: a radiographic study. *Journal of the American Animal Hospital Association* 1999;35:332-340.
58. Grondalen J, Grondalen T. Arthrosis in the elbow joint of young rapidly growing dogs. V. A pathoanatomical investigation. *Nordisk Veterinær Medicin* 1981;33:1-16.
59. McCurnin DM. Surgery of the canine elbow joint (A brief clinical review). *Veterinary Medicine, Small Animal Clinician*, 1976;71:909-914.
60. Fox SM, Bloomberg MS, Bright RM. Developmental Anomalies of the Canine Elbow. *Journal of the American Animal Hospital Association* 1983;19:605-615.
61. Bienz H. Klinische und radiologische Untersuchungen über den fragmentierten Processus coronoideus medialis im Ellbogengelenk des Berner Sennenhundes. *Veterinärmedizinische Fakultät der Universität Zürich*. Zürich 1985:24-27.
62. Hedhammar A, Wu F, Krook L, et al. Overnutrition and Skeletal Disease - An Experimental Study in Growing Great Dane Dogs. *Cornell Veterinarian* 1974;64:5-160.
63. Hazewinkel HAK, A.; Meij, B. The role of nutrition in elbow dysplasia. In: *Proceedings of the International Elbow Working Group's 9th meeting, IEWG*. 1998. Davis, California.
64. Grondalen J, Lingaas F. Arthrosis in the Elbow Joint of Young Rapidly Growing Dogs - A Genetic Investigation. *Journal of Small Animal Practice* 1991;32:460-464.
65. Guthrie S, Pidduck HG. Heritability of Elbow Osteochondrosis within a Closed Population of Dogs. *Journal of Small Animal Practice* 1990;31:93-96.

66. Studdert VP, Lavelle RB, Beilharz RG, Mason TA. Clinical-Features and Heritability of Osteochondrosis of the Elbow in Labrador Retrievers. *Journal of Small Animal Practice* 1991;32:557-563.
67. Ohlerth S, Busato A, Gaillard C, Fluckiger M, Lang J. Epidemiologische und genetische Studie der Hüftgelenkdsdysplasie in einer Labrador Retriever Population: eine Studie über 25 Jahre. *Deutsche Tierärztliche Wochenschrift* 1998;105:378-383.
68. Maki K, Liinamo AE, Ojala M. Estimates of genetic parameters for hip and elbow dysplasia in Finnish Rottweilers. *Journal of Animal Science* 2000;78:1141-1148.
69. Maki K, Groen AF, Liinamo AE, Ojala M. Genetic variances, trends and mode of inheritance for hip and elbow dysplasia in Finnish dog populations. *Journal of Animal Science* 2002;75:197-207.
70. Janutta V, Hamann H, Klein S, Tellhelm B, Distl O. Genetic evaluation of elbow angles as predictors of elbow dysplasia in German shepherd dogs. *Journal of Veterinary Medicine* 2005;52:254-261.
71. Kirchhoff TJM. Genetische Analyse der Hüft- und Ellbogengelenkdsdysplasie beim Deutschen Schäferhund. Institut für Tierzucht und Vererbungsforchung. Hannover: Tierärztliche Hochschule Hannover; 2003.
72. Beuing R, Erhardt, G. Konsequente Anwendung von Zuchtprogrammen zur Reduktion tierschutzrelevanter Krankheitsdispositionen in der Hundezucht. In: 23. DVG-Kongress. 1999. Bad Nauheim.
73. Hedhammar A. Breeding healthier dogs in Sweden. *Tijdschr Diergeneeskde* 1991;116 Suppl 1:76S-79S.
74. Grondalen J, Lingaas, F. Screening for elbow arthrosis in Norway. In: *Proceedings of the International Elbow Working Group 10'th meeting (IEWG)*. 1999. Davis California.
75. Dysplasiekommission der Vetsuisse Fakultät von Zürich und Bern; Interne Mitteilung: ED Prävalenzen in der Schweiz von 1992 bis 2001. 2004.
76. Hazel LN. The genetics basis for constructing selection indices. *Genetics*; 1943:476-490.
77. Beuing R. "X-Ray" Softwarepacket. TG-Verlag; 2002.
78. Groeneveld E. VCE-multivariate multimodel REML. (Co-)variance components estimation package. in *Proceedings of the 5 th World Congress on Genetics Applied to Livestock Produktion*. 1995. University of Guelph.
79. Wagenaar D, J. A. M. Van Arendonk, M. Kramer. Selection Index Program (SIP) User Manual. eds. The Netherlands: Wageningen Agricultural University; 1995.

-
80. Schwencke M, van den Brom WE, Hazewinkel HAW. Morphological measurements for arthrosis risk in elbow dysplasia: a new method? *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* 2004;17:225-231.

9 Danksagung und Widmung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die diese Arbeit ermöglicht haben.

Mein spezieller Dank richtet sich an:

Herrn Prof. Dr. M. Flückiger für die Überlassung des Themas und die Übernahme des Referates, für seine Unterstützung und Betreuung, sowie seine nützlichen Anregungen und Korrekturarbeiten zu dieser Dissertation.

Frau Dr. Nina Janssen für ihre fachliche Betreuung, sowohl bei der statistischen Bearbeitung der Daten, als auch für Ihren unermüdlichen Einsatz in den genetischen Berechnungen der umfangreichen Datenbanken.

Herrn Dr. R. Beuing für die Einführung in die Messmethodik und Hilfeleistung bei tierzüchterischen Fragen.

Herrn Prof. Dr. J. Lang für die Bereitstellung der ED-Röntgenbilder und der ED-Datenbank von Bern sowie die Übernahme des Korreferates.

Herrn Prof. Dr. C. Gaillard für seine statistischen Auswertungen der Daten und fachlichen Beratung zu dieser Arbeit.

Herrn K. Hugen für die wertvolle Unterstützung und Hilfe in der Erstellung der ED- und EQ-Datenbanken.

Frau M. Scholl für die Bereitstellung der Eltern-Daten des Golden Retrievers und Labrador Retrievers.

Herrn R. Rudin und Frau F. Aebersold für die Antworten auf die tierzüchterischen Fragen betreffend der Ellbogendysplasie beim Deutschen Schäferhund und Berner Sennenhund.

Diese Arbeit ist in grosser Dankbarkeit für die unermüdliche Hilfe und Unterstützung meinen Eltern, meiner Frau und meinen Schwiegereltern gewidmet.

10 Curriculum vitae

Name und Vorname	Schmied Oliver, Christoph
Geburtsdatum	13. September 1973
Geburtsort	Zürich
Nationalität	Schweizer
Heimatort	Zürich, Basel und Niederwichtrach (BE)
1980 – 1986	Primarschule Herrliberg (Zürich)
1986 – 1993	Gymnasium in Zürich, Matura Typ B
1994 – 1998	Studium der Humanmedizin an der Universität Fribourg, Schweiz
1998 – 2002	Studium der Veterinärmedizin an der Universität Zürich, Schweiz
2002	Staatsexamen an der veterinärmedizinischen Fakultät (Vetsuisse) der Universität Zürich
2003 – 2005	Doktorand in der Abteilung bildgebende Diagnostik und Radio-Onkologie der Vetsuisse Fakultät in Zürich unter Leitung von Prof. Dr. Mark Flückiger
2004 – 2005	Internship in der Kleintierchirurgie der Vetsuisse Fakultät an der Universität Zürich
seit September 2005	Residency in der Abteilung Neurologie der Kleintierchirurgie der Vetsuisse Fakultät an der Universität Zürich

Datum der Erstellung des Lebenslaufes: 14. Sept. 2007